



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETON KARIŞIM SUYU VE BOŞLUK SUYUNA KATILAN  
EKOLOJİK İNHİBİTÖRLERİN DONATI KOROZYONUNA  
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MİNE KURTAY**

**DOKTORA TEZİ  
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HÜSNÜ GERENGİ**

**DÜZCE, 2020**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETON KARIŞIM SUYU VE BOŞLUK SUYUNA KATILAN**  
**EKOLOJİK İNHİBİTÖRLERİN DONATI KOROZYONUNA**  
**ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mine KURTAY tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Sibel ZOR

Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. E. Gökhan GECE

Bursa Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2020

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

25 Haziran 2020

Mine KURTAY



## TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi aşamasında, tez sürecimdeki çalışmalarımın tamamını başından sonuna kadar zaman kavramı olmaksızın ve sabırla takip eden, son derece anlayışlı ve bir o kadarda disiplinli tavırlarıyla çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulunan tez danışmanım Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın tamamlanmasında, özellikle çimento deneylerinin analizi ve yorumlanması konusunda yardımlarıyla süreçleri kolaylaştıran tez izleme kurulu üyesi kıymetli hocam Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmalarım boyunca deneysel konularda önerdiği çözümler ve yardımlarıyla ilgi, destek ve teşviklerinden ötürü tez izleme kurulu üyesi kıymetli hocam Prof. Dr. Serkan SUBAŞI'ya sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deneyler esnasında 6 ay beraber çalıştığımız değerli arkadaşım Hana LAHBİB'e, makale yazımdaki yardımlarından dolayı değerli arkadaşım Marziya RIZVI'ya çok teşekkür ederim. Sadece tez çalışmalarımda değil hayatımın her aşamasında teşekkürden çok daha fazlasını hak eden ve desteğiyle bana güç veren, motive eden, hayatımda önemli bir yere sahip olan Öğr. Gör. Mesut YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen çok sevgili ve değerli çalışma arkadaşlarım Ertuğrul KAYA ve Doğançan UZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Standart çimento deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen başta Nuh Çimento A.Ş. yöneticileri ve laboratuvar çalışanları Serdar GÖKHAN ve UĞUR KESKİN'e, XRD analizleri için Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Öğr. Gör. Dr. Selvin TURGUT'a, TGA/DTA analizleri için Selçuk Üniversitesi Öğr. Gör. Hande YÖNDEMLİ'ye çok teşekkür ederim. Bütün sıkıntılarımı, sevinçlerimi benimle paylaşan, beni her durum ve koşulda destekleyen, yanımda olan, bana güç ve sabır veren anneme, babama, ablama ve ikizime teşekkürlerimle birlikte sevgilerimi de sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2016.06.05.492 ve BAP-2019.06.05.1036 numaralı Bilimsel Araştırma Projeleri ile desteklenmiş ve Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER .....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
EXTENDED ABSTRACT.....	xvi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. KOROZYON.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1. Korozyon Ölçme Yöntemleri .....</b>	<b>7</b>
1.1.1.1. TP Yöntemi.....	7
1.1.1.2. LP Yöntemi.....	8
1.1.1.3. EIS Yöntemi.....	8
1.1.1.4. DEIS Yöntemi.....	10
<b>1.2. İNHİBİTÖRLER .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>13</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN REAKTİFLER.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. KOROZYON VE ÇİMENTO DENEYLERİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....</b>	<b>18</b>
2.2.1. Korozyon Deneyleri için Donatı Numunelerinin Hazırlanması ve Deneylerin Yapılması.....	18
2.2.2. Çimento Deneyleri için Çimento Harçlarının Hazırlanması ve Deneylerin Yapılması.....	20
<b>2.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....</b>	<b>20</b>
2.3.1. EIS Analizi .....	20
2.3.2. DEIS Analizi .....	20
2.3.3. TP Analizi .....	21
2.3.4. SEM-EDS Analizi.....	21
2.3.5. OP Analizi.....	21
2.3.6. AFM Analizi .....	22
2.3.7. Tane Boyut Analizi.....	22
2.3.8. Özgül Yüzey Tayini.....	23
2.3.9. Özgül Ağırlık Tayini .....	23
2.3.10. FT-IR Analizi.....	23
2.3.11. XRD Analizi.....	23
2.3.12. Termal Analiz.....	24
<b>3. BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. KOROZYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>25</b>

<b>3.1.1. EIS Yöntemi.....</b>	<b>25</b>
3.1.1.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	25
3.1.1.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	28
3.1.1.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	30
3.1.1.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi ...	32
3.1.1.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	34
3.1.1.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	36
<b>3.1.2. DEIS Yöntemi.....</b>	<b>38</b>
3.1.2.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	38
3.1.2.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	40
3.1.2.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	41
3.1.2.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi	43
3.1.2.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	45
3.1.2.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi .....	47
<b>3.1.3. TP Yöntemi.....</b>	<b>48</b>
3.1.3.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi .....	48
3.1.3.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi .....	50
3.1.3.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi .....	51
3.1.3.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi ....	52
3.1.3.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi .....	53
3.1.3.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi .....	55
<b>3.1.4. SEM-EDS Analizleri .....</b>	<b>56</b>
3.1.4.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	56
3.1.4.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	58
3.1.4.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	60
3.1.4.4. Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	62
3.1.4.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	63
3.1.4.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri.....	66
<b>3.1.5. AFM Analizleri.....</b>	<b>68</b>
3.1.5.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri .....	68
3.1.5.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri ....	69
3.1.5.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri.	71
3.1.5.4. Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri .....	73

3.1.5.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri .....	75
3.1.5.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri .....	77
<b>3.1.6. OP Analizleri .....</b>	<b>79</b>
3.1.6.1. Boşluk Suyu Çözeltilisinde Elde Edilen OP Analizleri .....	79
3.1.6.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltilisinde Elde Edilen OP Analizleri .....	81
3.1.6.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltilisinde Elde Edilen OP Analizleri ...	83
3.1.6.4. Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri .....	85
3.1.6.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri .....	87
3.1.6.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri .....	89
<b>3.2. YÖNTEMLERDEN ELDE EDİLEN VERİLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ .....</b>	<b>91</b>
3.2.1. EIS Sonuçlarının Kıyaslanması .....	91
3.2.2. DEIS Sonuçlarının Kıyaslanması .....	93
3.2.3. TP Sonuçlarının Kıyaslanması .....	95
3.2.4. SEM-EDS Sonuçlarının Kıyaslanması.....	96
3.2.5. AFM Sonuçlarının Kıyaslanması .....	97
3.2.6. OP Sonuçlarının Kıyaslanması .....	98
<b>3.3. ÇİMENTO NUMUNELERİNE UYGULANAN ANALİZ VE DENEYLER .....</b>	<b>100</b>
3.3.1. Fiziksel Analizler .....	100
3.3.2. Standart Çimento Deneyleri .....	100
3.3.3. Çimento Basınç Dayanımı Deneyi .....	102
3.3.4. FT-IR Analizi.....	103
3.3.5. XRD Analizi.....	105
3.3.6. Termal Analizler .....	107
3.3.7. SEM EDS Analizi .....	110
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>114</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>116</b>
<b>6. EKLER .....</b>	<b>128</b>
6.1. BU TEZDEN ÇIKAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR.....	128
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>129</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Betonarme yapıda meydana gelen parçalanma. ....	1
Şekil 1.2. Demir-su sistemi için potansiyel-pH diyagramı. ....	4
Şekil 1.3. Donatı korozyonu mekanizması. ....	4
Şekil 1.4. Türkiye Deprem Haritası. ....	5
Şekil 1.5. Korozyon nedeniyle meydana gelen hasarlar. ....	6
Şekil 1.6. Betonda agresif iyonların etkisi ve donatı korozyonu. ....	6
Şekil 1.7. Elektrokimyasal Korozyon Ölçme Yöntemleri. ....	7
Şekil 1.8. Korozyon akımı ve potansiyelinin hesaplanması. ....	8
Şekil 1.9. Empedansın ( $Z$ ) bulunması. ....	9
Şekil 1.10. Korozyon İnhibitörleri Piyasa Hacmi, 2013-2024 (ABD). ....	11
Şekil 2.1. Kullanılan inhibitörlerin molekül yapısı. ....	17
Şekil 2.2. Korozyon deneylerinde kullanılan nervürlü betonarme çeliği. ....	18
Şekil 2.3. Metallerin zımparalanması ve numune kaplarına yerleştirilmesi. ....	19
Şekil 2.4. Korozyon Deney Düzeneği. ....	19
Şekil 2.5. Çimento harcının hazırlanması. ....	20
Şekil 2.6. SEM-EDS analiz cihazı. ....	21
Şekil 2.7. OP cihazı. ....	22
Şekil 2.8. AFM cihazı. ....	22
Şekil 2.9. FT-IR Cihazı. ....	23
Şekil 2.10. XRD Cihazı. ....	24
Şekil 2.11. DTA-TGA Cihazı. ....	24
Şekil 3.1. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ....	25
Şekil 3.2. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları. ....	26
Şekil 3.3. $R(QR)(QR)$ devresi. ....	27
Şekil 3.4. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ....	28
Şekil 3.5. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları. ....	29
Şekil 3.6. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ....	30
Şekil 3.7. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları. ....	31
Şekil 3.8. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ....	32
Şekil 3.9. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları. ....	33
Şekil 3.10. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ...	34
Şekil 3.11. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları. ....	35
Şekil 3.12. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları. ...	36
Şekil 3.13. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları. ....	37
Şekil 3.14. Boşluk suyu çözeltisinde DEIS sonucu elde edilen 3D grafikler. ....	38
Şekil 3.15. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait 3D grafikler. ....	40
Şekil 3.16. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait 3D grafikler. ...	41
Şekil 3.17. Karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler. ....	43
Şekil 3.18. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler. ....	45
Şekil 3.19. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler. ....	47
Şekil 3.20. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri. ....	49
Şekil 3.21. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri. ...	50

Şekil 3.22. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.	51
Şekil 3.23. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri. ....	52
Şekil 3.24. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri. ....	54
Şekil 3.25. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri. ....	55
Şekil 3.26. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	56
Şekil 3.27. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri. ....	57
Şekil 3.28. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	58
Şekil 3.29. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri. .	59
Şekil 3.30. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	60
Şekil 3.31. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri. ....	61
Şekil 3.32. Karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	62
Şekil 3.33. Karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri. ....	63
Şekil 3.34. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	64
Şekil 3.35. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri. ....	65
Şekil 3.36. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri. ....	66
Şekil 3.37. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri. ....	67
Şekil 3.38. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri. ....	68
Şekil 3.39. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	69
Şekil 3.40. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri.	70
Şekil 3.41. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	71
Şekil 3.42. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri. ....	72
Şekil 3.43. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	73
Şekil 3.44. Karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri. ....	74
Şekil 3.45. Karışım suyunda donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	75
Şekil 3.46. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri. ....	76
Şekil 3.47. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	77
Şekil 3.48. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri. ....	78
Şekil 3.49. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	79
Şekil 3.50. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri. ....	80
Şekil 3.51. Boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri.	81
Şekil 3.52. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri. ...	82
Şekil 3.53. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	83
Şekil 3.54. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri.	84
Şekil 3.55. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	85
Şekil 3.56. Karışım suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri. ....	86
Şekil 3.57. Karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	87
Şekil 3.58. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait OP analizleri. ....	88
Şekil 3.59. Kafein ilaveli karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	89
Şekil 3.60. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait OP analizleri. ....	90
Şekil 3.61. L-arjinin ilaveli karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen $R_a$ ve $R_z$ değerleri. ....	91

Şekil 3.62. Çimento hamurlarına ait priz başlangıç ve bitiş süreleri. ....	101
Şekil 3.63. Çimento hamurlarına ait genleşme miktarları. ....	102
Şekil 3.64. Çimento harç numunelerine ait basınç dayanımı değerleri. ....	102
Şekil 3.65. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait FT-IR spektrumları. ....	104
Şekil 3.66. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait XRD analizleri [1: C <sub>3</sub> S-Alit (3CaOSiO <sub>3</sub> ), 2: C <sub>2</sub> S-Belit (2CaOSiO <sub>3</sub> ), 3: Kalsit (CaCO <sub>3</sub> ), 4: CH-Portlandit (Ca(OH) <sub>2</sub> )]. ....	106
Şekil 3.67. İnhibitör katkılı çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait DTA-TGA analizleri. ....	108
Şekil 3.68. İnhibitör ilaveli hidratlanmış macunların CH içeriği. ....	110
Şekil 3.69. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait SEM görüntüleri. ....	111
Şekil 3.70. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait EDS analizleri. ....	112



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. İstanbul ilçelerinde deprem sonrası binalarda belirlenen korozyon hasarı ve beton dayanımı oranları.....	2
Çizelge 2.1. Karışım suyunun kimyasal bileşimi. ....	17
Çizelge 2.2. Beton boşluk suyu çözeltisinin kimyasal bileşimi ve nominal pH değeri. ....	17
Çizelge 2.3. Nervürlü donatı çeliğinin kimyasal bileşimi (kütlece %). ....	18
Çizelge 2.4. Portland çimentosunun kimyasal bileşimi (kütlece %). ....	18
Çizelge 3.1. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları. ....	28
Çizelge 3.2. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları..	30
Çizelge 3.3. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları. ....	32
Çizelge 3.4. Karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları.....	34
Çizelge 3.5. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları.....	36
Çizelge 3.6. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları. ....	37
Çizelge 3.7. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları. ....	39
Çizelge 3.8. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları. ....	41
Çizelge 3.9. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları. ....	43
Çizelge 3.10. Karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.....	44
Çizelge 3.11. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.....	46
Çizelge 3.12. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları. ....	48
Çizelge 3.13. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları. ....	49
Çizelge 3.14. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları..	50
Çizelge 3.15. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları. ....	52
Çizelge 3.16. Karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları.....	53
Çizelge 3.17. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları. ....	54
Çizelge 3.18. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları.....	55
Çizelge 3.19. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu ortamında elde edilen EIS değerleri.....	92
Çizelge 3.20. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen EIS değerleri. ..	93
Çizelge 3.21. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde elde edilen DEIS değerleri.....	94
Çizelge 3.22. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen DEIS değerleri	94
Çizelge 3.23. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde elde edilen TP değerleri.....	95
Çizelge 3.24. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen TP değerleri.....	96
Çizelge 3.25. İnhibitör ilaveli boşluk suyu ortamlarında AFM sonuçlarının kıyaslanması. ....	97
Çizelge 3.26. İnhibitör ilaveli karışım suyunda AFM sonuçlarının kıyaslanması.....	98
Çizelge 3.27. İnhibitör ilaveli boşluk suyu ortamlarında OP sonuçlarının kıyaslanması. ....	99
Çizelge 3.28. İnhibitör ilaveli karışım suyunda OP sonuçlarının kıyaslanması. ....	99
Çizelge 3.29. Portland çimentosunun fiziksel özellikleri. ....	100
Çizelge 3.30. İnhibitör katkılı çimento hamurlarının farklı sıcaklıklardaki ağırlık kaybı.....	109

## KISALTMALAR

25K	25 ppm Kafein İlavesi
25L	25 ppm L-arjinin İlavesi
50K	50 ppm Kafein İlavesi
50L	50 ppm L-arjinin İlavesi
75K	75 ppm Kafein İlavesi
75L	75 ppm L-arjinin İlavesi
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CH	Kalsiyum Hidroksit
CS	Kalsiyum Silikat
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
DEIS	Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
DTA	Diferansiyel Termal Analizi
EDS	Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
FTIR	Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrofotometre
Hz	Hertz
kHz	Kilo Hertz
LP	Lineer Polarizasyon
mHz	Mili Hertz
OCP	Açık Devre Potansiyeli
OP	Optik Profilometre
PÇ	Portland Çimento
R	Referans Çimento Numunesi
SCPS	Simüle Beton Boşluk Suyu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TP	Tafel Ekstrapolasyon
XRD	X-Işını Difraktometresi

## SİMGELER

$\%IE$	İnhibitör Etkinliği Yüzdesi
$\sim$	Yaklaşık
$\mu A$	Mikroamper
$\mu m$	Mikrometre
$E_{kor}$	Korozyon Potansiyeli
$I_{kor}$	Korozyon Akım Yoğunluğu ( $\mu A/cm^2$ )
mV	Milivolt
n	Pürüzlülük Faktörü
$N/mm^2$	Newton/milimetrekaire
nm	Nanometre
ppm	Milyonda bir (mg/l)
$Q$	Sabit Faz Elemanı
$R_a$	Ortalama Pürüzlülük (nm)
$R_{ct}$	Yük Transfer Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
$R_p$	Polarizasyon Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
$R_s$	Çözelti Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
$R_z$	10 Noktanın Ortalama Pürüzlülüğü (nm)
$\chi^2$	Ki-Kare
Z	Empedans ( $\Omega$ )
$Z_{im}$	Hayali Empedans
$Z_{re}$	Gerçek Empedans
$\beta_a$	Anodik Tafel Sabiti (mv/dec)
$\beta_c$	Katodik Tafel Sabiti (mv/dec)
$\Omega$	Ohm

## ÖZET

### BETON KARIŞIM SUYU VE BOŞLUK SUYUNA KATILAN EKOLOJİK İNHİBİTÖRLERİN DONATI KOROZYONUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mine KURTAY

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Haziran 2020, 128 sayfa

Korozyon, betonarme yapıların en büyük sorunudur. Korozyonu önlemek için çimentoya organik ve inorganik inhibitörler eklenir. Günümüzde bazı inorganik ve organik bileşiklerin toksisitesi nedeniyle, doğal inhibitörlerin kullanımına daha fazla dikkat edilmektedir. Bu çalışmanın amacı; 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle beton karışım suyu ve beton boşluk suyuna maruz kalan donatı çeliklerinin korozyon mekanizmasını araştırmaktır. Karışım suyu ve boşluk suyu çözeltilerindeki donatıların korozyon direnci; Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Tafel Ekstrapolasyon (TP) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca belirtilen ortam ve koşullara maruz bırakılan donatıların korozyon direncini arttırmak amacıyla ekolojik inhibitörler (50 ppm kafein ve 50 ppm L-arjinin) kullanılmıştır. Elektrokimyasal deneyler sonrası metal yüzeyinde meydana gelen değişimler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Optik Profilometre (OP) analizleri ile incelenmiş, uygulanan tüm yöntemlerle aralarındaki korelasyon ortaya konulmuştur. Bunlara ek olarak referans ve inhibitör ikameli çimentolar için TS-EN 196-1'e göre 2, 7, 28 günlük standart çimento deneyleri yapılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Kritik süre olan 28. gündeki numunelerin hidrasyon gelişiminde meydana gelen değişimler SEM, Diferansiyel Termal Analizi (DTA), Termogravimetrik Analiz (TGA), X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, donatı çeliğinin çözeltide bekleme süresi arttıkça korozyon direncinin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca donatı çeliğinin boşluk suyu çözeltisindeki korozyon direncinin karışım suyundan daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bekleme süresiyle paralel olarak kullanılan inhibitörlerin donatının korozyon direncini artırıcı yönde etki ettiği ve L-arjininin kafeine göre daha yüksek inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edilmiştir. 75 ppm kafein ve L-arjinin içeren harçların basınç dayanımı 28. günde tüm çimento harçlarından daha yüksek dayanım göstermiştir. Kullanılan her iki inhibitörün de çimento hidrasyonuna katkı sağladığı ve korozyon inhibitörü olarak boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında kullanılabileceği bu tez çalışması ile bilimsel olarak ispatlanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Beton boşluk suyu ve karışım suyu, Çimento, Donatı, İnhibitör, Korozyon.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ECOLOGICAL INHIBITORS ADDED TO CONCRETE MIXING WATER AND PORE SOLUTION ON THE CORROSION OF REINFORCING STEEL

Mine KURTAY

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material  
Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

June 2020, 128 pages

Corrosion is the biggest problem of reinforced concrete structures. Organic and inorganic inhibitors are added to the cement to prevent corrosion. Today, due to the toxicity of some inorganic and organic compounds, more attention is paid to the use of natural inhibitors. The aim of this study; To investigate the corrosion mechanism of reinforcement steels exposed to concrete mixing water and concrete pore solution for 2 hours, 7, 28, 56 and 90 days. Corrosion resistance of reinforcement in mixing water and concrete pore solution was determined using Dynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy (DEIS), Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Tafel Extrapolation (TP) methods. In addition, ecological inhibitors (50 ppm caffeine and 50 ppm L-Arginine) have been used to increase the corrosion resistance of the steels exposed to the specified environment and conditions. The changes on the metal surface after electrochemical experiments were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Atomic Force Microscopy (AFM) and Optical Profilometer (OP) analysis, and the correlation between them was revealed with all the methods applied. In addition to these, compressive strengths of reference and inhibitor added cement pastes were determined for 2, 7 and 28 days according to TS-EN 196-1. Changes in the hydration mechanism of samples on the 28th day, which is critical period, were examined using SEM, Differential Thermal Analysis (DTA), Thermogravimetric Analysis (TGA), X-Ray Diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) analysis techniques. According to the obtained results, it was observed that the corrosion resistance of reinforcement steel increased with the waiting time of the solution. It has also been determined that the corrosion resistance of the reinforcement steel in the concrete pore solution is higher than the mixing water. It was determined that the inhibitors used had an effect on increasing the corrosion resistance of the reinforcement steel in parallel with the waiting time and L-arginine had a higher inhibition effect than caffeine. The compressive strength of mortars containing 75 ppm caffeine and L-arginine showed higher strength than all the cement mortars on the 28th day. It has been scientifically proven that the inhibitors used to contribute to the cement hydration can also be used as a corrosion inhibitor in concrete pore solution and mixing water mediums.

**Keywords:** Cement, Concrete Pore Solution and mixing water, Corrosion, Inhibitor, Reinforcement Steel.

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ECOLOGICAL INHIBITORS MIXED UP WITH CONCRETE MIXTURE WATER AND PORE SOLUTION ON THE CORROSION OF REINFORCING STEEL**

Mine KURTAY

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

June 2020, 128 pages

#### **1. INTRODUCTION**

Concrete is a porous material and if it is not prepared according to standards, cracks will form and allow aggressive agents to enter, thus destabilizing the passive layer and corroding the steel. The main cause of the deterioration of reinforced concrete is corrosion and there are several methods to suppress the effects of corrosion and scale up the durability of the structures. These techniques involve variations of the cathodic prevention, concrete formulation, surface modification of the reinforcing steel (galvanizing, epoxy coating, nickel cladding), and addition of corrosion inhibitors. Many organic and inorganic compounds act as corrosion inhibitors, when introduced to the corrosive environment even in low concentrations, can successfully reduce the corrosion rate. Nowadays, due to the toxicity of certain inorganic and organic compounds more emphasis is being laid on the use of natural inhibitors.

Caffeine and L-arginine are nontoxic and eco-friendly natural molecules used in the food industry as well as a corrosion inhibitor in various corrosive media. However, their behavior and performance as an additive in the construction industry has not been explored. This study investigates the effect of caffeine as an additive on strength, water demands, setting time and hydration mechanism of cement.

This study investigates the usability of caffeine and L-arginine as a corrosion inhibitor and their effect on the hydration mechanism of cement. The corrosion behavior of reinforcement steel was investigated using electrochemical techniques such as Tafel extrapolation (TP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS) techniques. After electrochemical

corrosion studies, the surface of specimens was also investigated by atomic force microscopy (AFM), optical profilometer (OP) and scanning electron microscopy (SEM). The rate of hydration and cement pastes' products were conducted by means of X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), thermal analysis and scanning electron microscope (SEM) at 28 days. Moreover, the cement mortars' compressive strengths were determined at 2, 7 and 28 days intervals.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

The reinforcement steels are cut 1 cm thick for use in corrosion tests. The surface of the working electrode was prepared by grinding with abrasive papers of 400–2000 grades. Then washed with distilled water was placed in the test cell. The corrosion mechanism of the reinforcement steels exposed to the absence and presence of inhibitors (50 ppm caffeine and 50 ppm L-arginine) in two different solution (concrete pore solution and mixing water) for 2 hours, 7, 28, 56 and 90 days was investigated using three different methods at room temperature. Experiments results were supported with SEM, OP and AFM analysis.

The cement paste and mortar samples were prepared by adding 0, 25, 50 and 75 ppm caffeine and L-arginine to mixing water as per TS EN 196-1. Chemical, physical, XRD, FT-IR, DTA-TGA and SEM analyses were performed on the samples under investigation at 28<sup>th</sup> day.

## **3. RESULTS AND DISCUSSIONS**

The data obtained as a result of three methods used, corrosion behaviour of reinforcement steels has shown that the parallel in SCPS and mixing water. In order to obtain more qualitative information of the corrosion mechanism, the impedance data were analyzed by using of an electrical equivalent circuit  $R(QR)(QR)$ . Compared to the test results, it has been found that the two inhibitors used increase the corrosion resistance of the reinforcement steels in both environments. Furthermore, it has been determined that the corrosion resistance of reinforcement steels in L-arginine added environments is higher than that of caffeine. The results obtained from surface morphology methods confirm the corrosion tests.

Applied inhibitors have no effect on the setting time, compressive strength, volume expansion of cement and water demands negatively; rather it imparts enhanced sustainability to the samples. Besides, it has been observed that the development of

calcium silicate hydrate or C-S-H gel, calcium hydroxide or CH and other hydrated products are associated with each other. Also, these inhibitors definitely have a contribution in the consumption of CH formed in the hydration process. It has been found that the methods applied to determine the effect of caffeine and L-arginine on cement hydration are compatible with each other. Compared to the test results, it was observed that both inhibitors used had no negative effect on cement hydration. Moreover, it was determined that the compressive strength of the samples with L-arginine was higher than that of caffeine.

#### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK**

It has been observed that the corrosion resistance of reinforcement steel has increased with the increasing in waiting time. In addition, the corrosion resistance of the reinforcement steel in the concrete pore solution is determined to be better than the mixing water. Moreover, it has been observed that the inhibitors used increase corrosion resistance in parallel with the waiting time. The compressive strength of mortars containing 75 ppm caffeine and L-arginine showed higher strength than all cement mortars at 28<sup>th</sup> day. It was observed that both inhibitors used did not adversely affect cement hydration. It has been determined by the investigations recorded in this thesis that caffeine and L-arginine can be used as a korosion inhibitor in reinforced concrete structures.

# 1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento, karışım suyu, gerektiğinde mineral ve kimyasal katkılardan oluşan kompozit bir malzemedir. Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun, kuru haldeki çimento ve agregayı işlenebilir bir kütle haline getirmek ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlelerin sertleşmesini sağlamak gibi iki önemli işlevi bulunmaktadır. Normal koşullarda beton boşluk suyu yüksek alkalinitesi nedeniyle donatı yüzeyinde oksit film meydana getirerek donatıyı korozyona karşı korumaktadır. Ancak beton üretiminde kullanılan suyun kimyasal bileşimi ve çevre koşullarından dolayı betonarmede donatı korozyonu gözlenmektedir. Özellikle karışım suyu içerisinde bulunan agresif iyonlar ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $HCO_3^-$  vb.) ile çimento bileşenleri reaksiyona girerek betonda hacim genişmesi sonucunda çatlama, dağılma ve parçalanma gibi önemli hasarlara yol açmaktadır (Şekil 1.1). Dolayısıyla beton hazırlanırken kullanılan suyun özellikleri priz süresi, beton dayanım ve dayanıklılığının yanı sıra donatı korozyonunu da etkilemektedir.



Şekil 1.1. Betonarme yapıda meydana gelen parçalanma.

Servis ömrü boyunca titreşim, sarsıntı, deprem, mekanik yorgunluk ve dış ortamdaki çeşitli nedenlerden dolayı betonarme demirleri (donatı) korozyona uğramaktadır. Betonarme yapıların inşası ve kullanımı sırasında korozyonun dikkate alınmaması sonucunda yapıların hasar görmesi engellenemez bir durumdur. Betonarme yapılardaki deprem hasarları incelendiğinde, korozyona uğrayan yapılarda deprem hareketi nedeniyle

hasar oranının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Türkiye Deprem Haritasına göre, %92'si deprem bölgesinde yer alan ülkemizdeki halkın %95'inin deprem tehlikesiyle karşı karşıya olduğu bilinmektedir. 1999 yılı Marmara depreminde 17000'i aşkın vatandaşımızın hayatını kaybettiği ve yaklaşık 44000 kişinin yaralandığı rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada 1999 depreminde İstanbul'un ilçelerinde korozyon ve beton dayanımı üzerine yapılan inceleme sonuçları Çizelge 1.1'de gösterilmiştir [1].

Çizelge 1.1. İstanbul ilçelerinde deprem sonrası binalarda belirlenen korozyon hasarı ve beton dayanımı oranları.

İlçe	Bina Sayısı	Korozyon Tespit Edilen Bina Sayısı	(%)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
Avcılar	32	15	47	9,55
Bahçelievler	24	13	54	10,6
Bakırköy	14	6	43	13,8
Büyükçekmece	6	2	33	9,2
Küçükçekmece	10	5	50	8,8
Kadıköy	14	8	57	11,3

Çizelge incelendiğinde deprem sonrası binaların yaklaşık %50'sinde korozyon tespit edildiği ve basınç dayanımlarının ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Korozyona uğrayan donatı demirlerinin kesitlerinin ve mukavemetlerinin azalması sonucu betonarme yapılar neredeyse donatısız beton davranışı göstermektedir.

Bu tez çalışmasında; farklı zaman aralıklarında (2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün) beton karışım suyu ve betonu simüle etmek için çimentonun hidrasyon etkisi sonucu meydana gelen boşluk suyuna maruz kalan donatı çeliklerinin korozyonu; Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Tafel Ekstrapolasyon (TP) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca karışım suyu ve beton boşluk suyu ortamlarına ekolojik inhibitör olarak bilinen kafein ve L-arjinin 50 ppm oranında ilave ederek sistemdeki elektrokimyasal değişimler incelenmiş ve bu maddelerin inhibitör olarak kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Elektrokimyasal deneyler sonrası Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Optik Profilometre (OP) analizleri ile metal yüzeyinde meydana gelen değişimler incelenerek uygulanan elektrokimyasal yöntemlerle aralarındaki korelasyon ortaya konulmuştur.

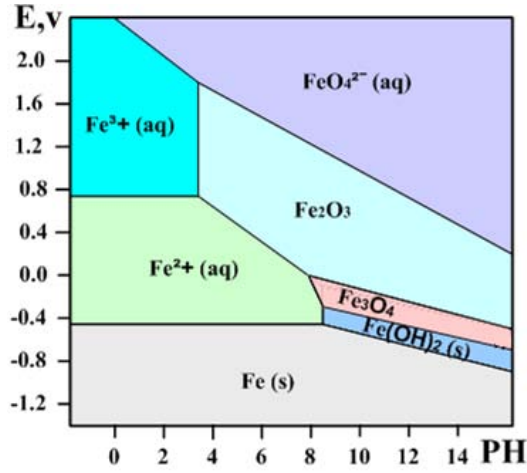
Referans ve inhibitör ikameli çimentolar için TS-EN 196-1'e [2] göre 2, 7, 28 günlük standart çimento deneyleri ile basınç dayanımları tespit edilmiş ve ayrıca kritik süre olan 28. gündeki numunelerin hidrasyon gelişiminde meydana gelen değişimler SEM, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetrik Analiz (TGA), X-Işını Difraksiyonu (XRD), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) gibi analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

## 1.1. KOROZYON

Metaller, termodinamiğin 2. yasasına göre doğada buldukları kararlı bileşik hallerine dönme eğilimi göstermektedir. Bu doğrultuda meydana gelen kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda metallerin özelliklerini kaybederek kullanılamaz hale gelmesi korozyon olarak adlandırılmaktadır [3].

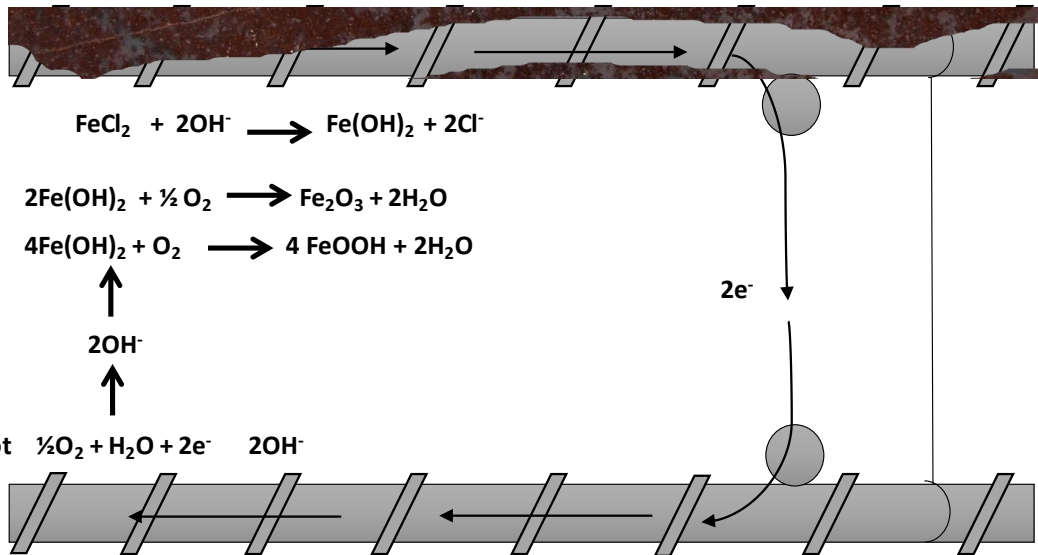
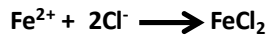
Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemeleri çelik ve betondur. Korozyon çoğunlukla çelik ürünlerle özdeşleşirken, betonda ayrıca maruz kaldığı çevredeki ciddi hava koşulları ve kimyasal etkileşimle aşınma da görülmektedir. Betonarme teknik, ekonomik ve ekolojik avantajlarından dolayı mükemmel bir inşaat malzemesi olmasına rağmen donatıda meydana gelen korozyon emniyet ve ekonomik açıdan büyük problem teşkil etmektedir [4]. Donatıda gerçekleşen korozyon sonucunda betonda meydana gelen hasarlar kesit kayıplarının yanı sıra, aderansın da zamanla azalmasına neden olmaktadır. Betonarme yapılar genellikle tüm yapının felaketle sonuçlanma aşamasına kadar fark edilmeden aşınan ve korozyona uğrayan çelik takviyeler içermektedir [5]. Bu durum özellikle köprü ve viyadük gibi yapılarda maddi hasarlara yol açarak insan yaşamını ve çevreyi tehdit edecek sonuçlara da neden olmaktadır [6], [7].

Korozyon davranışını belirleyen en önemli faktörlerden biri pH değeridir. Genellikle asidik ortamlarda korozyona uğrayan malzemelerin alkali ortamlarda korozyonunun azaldığı bilinmektedir. pH aynı zamanda malzemenin gerilim korozyonu çatlamasını ve çukur korozyonuna dayanımını etkilemektedir. Demirin sulu ortamdaki korozyonuna pH'nın etkisinin gösterildiği potansiyel-pH diyagramı, demirin sulu ortamlarla iyon ve oksitler arası reaksiyonları dikkate alınarak oluşturulmuştur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Demir-su sistemi için potansiyel-pH diyagramı.

Beton içerisindeki donatı çeliğinin yüzeyinde yüksek alkalin ortama bağlı olarak meydana gelen pasif film, çeliği korozyona karşı korumaktadır (Şekil 1.3) [8]-[11]. Ancak beton karışım suyunun içinde bulunan agresif iyonlar beton içine nüfuz ederek betonarme yapılarda donatı korozyonuna neden olarak betonun dayanıklılığını azaltmakta ve betonda önemli hasarlara yol açmaktadır [12], [13].



Şekil 1.3. Donatı korozyonu mekanizması.

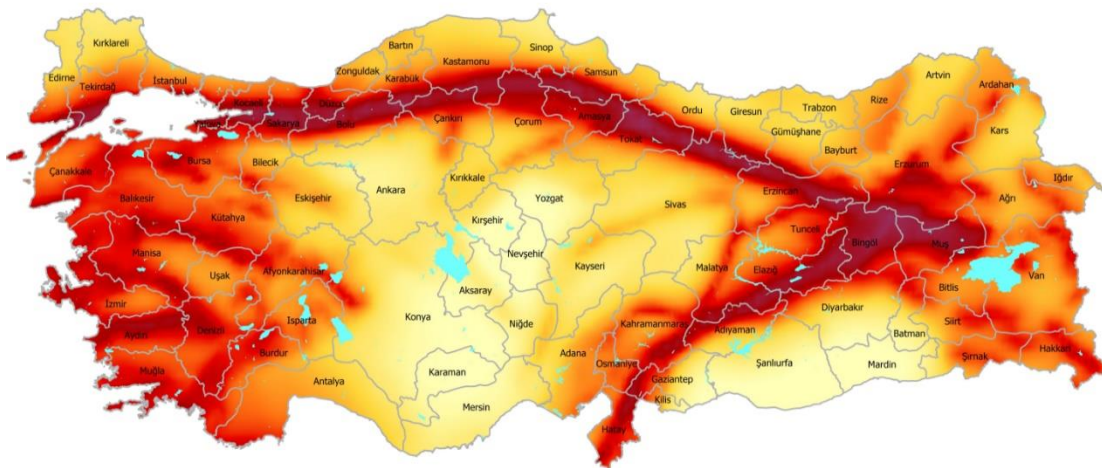
Atmosferik olarak alkali ve oksijen bakımından zengin elektrolitlere maruz kalan betonarme yapılarda ikinci ve/veya üçüncü elektrokimyasal reaksiyonlar genel korozyon reaksiyonuna katılmaktadır. Eğer demir sadece beton boşluk suyunda çözülürse, betonda

çatlama ve dökülme gözlenmez. Pas oluşumu için birkaç reaksiyon gerçekleşmelidir. Demir hidroksitin, ferrik hidroksit ve daha sonra hidratlı ferrik oksit veya pas haline geldiği kombinasyon aşağıda gösterilmiştir [14]:



Oluşan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , demirin yaklaşık iki katı kadar bir hacme sahiptir. Hidratlandığında daha da şişerek ve gözenekli hale gelerek, çelik/beton ara yüzündeki hacmi iki ila on katı kadar arttırmaktadır. Bu durum, çelik korozyonunun olağan bir sonucu olarak betonda çatlama ve parçalanmaya yol açmaktadır.

Beton dayanımını artırmak üzere kullanılan betonarme demirlerindeki korozyon sadece metalin değil beton yapının ömrü açısından da önem taşımaktadır [15]. Betonarme elemanlarda meydana gelen korozyon, yapının güvenliğini hiç şüphesiz tehdit eden ve hatta sona erdiren bir durumdur. Ülkemizin jeolojik yapısı nedeniyle yüz ölçümünün %42'si birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır (Şekil 1.4). Bu yüzden günümüzde hızla artan betonlaşma sonucunda, betonarme yapılarda meydana gelen hasarların verdiği ekonomik kayıp giderek artmaktadır.



Şekil 1.4. Türkiye Deprem Haritası.

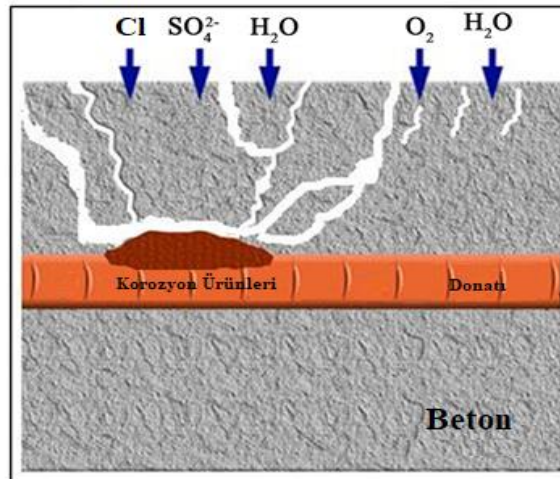
Korozyon nedeniyle donatı kesitlerinde meydana gelen azalmanın deprem gibi dinamik yükler altında büyük kesit kayıplarına uğradığı ve betonarme yapılarda ciddi sorunlara neden olduğu görülmektedir (Şekil 1.5). 1999 yılında meydana gelen Kocaeli ve Düzce

depremleri sonrasında yapılan araştırmalarda hasar gören ve yıkılan binaların yaklaşık %80'inin korozyon kaynaklı olduğu rapor edilmiştir [16]-[19].



şekil 1.5. Korozyon nedeniyle meydana gelen hasarlar.

Beton üretiminde kullanılan karışım suları, yapının ömrü ve dayanımı açısından önem taşımaya rağmen bu konuda literatürde detaylı bilgi mevcut değildir [20]. Çimento ile kimyasal reaksiyon oluşturan suyun içerisinde bulunan zararlı maddeler beton içine nüfuz ederek, betonun mukavemeti ve durabilitesini olumsuz yönde etkilemekte, aynı zamanda donatının paslanmasına da neden olmaktadır [12], [21], [22]. Özellikle karışım suları içinde farklı oranlarda bulunan zararlı iyonlar beton içerisinde agresif bir ortam oluşturarak betonarme yapıların dayanımını tehdit etmekte ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (şekil 1.6) [23]-[25].

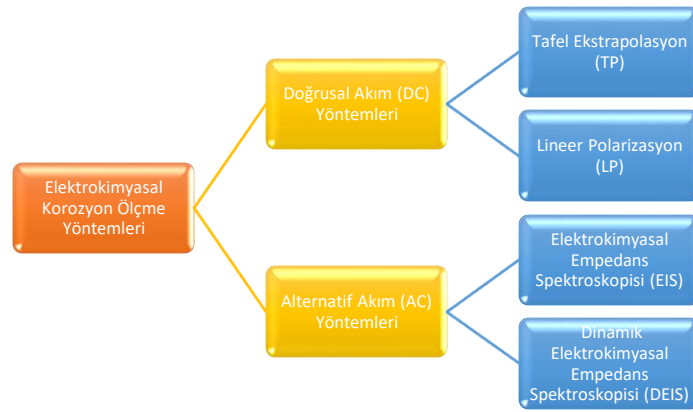


şekil 1.6. Betonda agresif iyonların etkisi ve donatı korozyonu.

Korozyon oluşumunu önlemek veya en aza indirmek amacıyla ortam şartlarına göre metal tercih edilmesi, inhibitör kullanılması, metal-ortam ilişkisinin kesilmesi, metalin yalıtkan malzemeye kaplanması, anodik veya katodik koruma gibi yöntemler uygulanmaktadır [26].

### 1.1.1. Korozyon Ölçme Yöntemleri

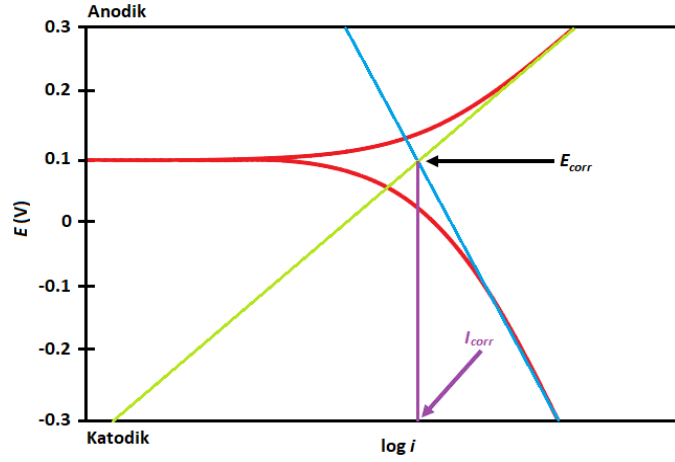
Korozyon hızının belirlenmesi amacıyla oldukça detaylı hesaplamalara dayanan çeşitli elektrokimyasal yöntemler bulunmaktadır. Şekil 1.7’de metallerin buldukları ortam içerisinde korozyon mekanizmasının belirlenmesinde kullanımı en yaygın olan elektrokimyasal yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Elektrokimyasal Korozyon Ölçme Yöntemleri.

#### 1.1.1.1. TP Yöntemi

Diğer elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemlerine kıyasla uygulaması daha kolay olan Tafel Ekstrapolasyon yöntemi, sanayide de uygulanmaktadır. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle sistemde meydana gelen korozyonun belirlenmesi ve denetlenmesi mümkündür. Korozyon potansiyelinden itibaren potansiyostatik ve galvanostatik yöntem ile anodik ve katodik doğrultuda çizilmiş olan yarı logaritmik akım yoğunluğu potansiyel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle korozyon akımı ( $I_{kor}$ ) hesaplanmaktadır [27] (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Korozyon akımı ve potansiyelinin hesaplanması.

Şekil 1.8'den faydalanarak Eşitlik 1.4'te Stern ve Geary'nin elde ettikleri formül yardımıyla korozyon akımı ( $I_{kor}$ ) hesaplanmaktadır [28]. Denklemden  $I_{kor}$  korozyon akımını,  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  sırasıyla anodik ve katodik sabitini,  $R_p$  ise polarizasyon direncini ifade etmektedir.

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c) R_p} \quad (1.4)$$

#### 1.1.1.2. LP Yöntemi

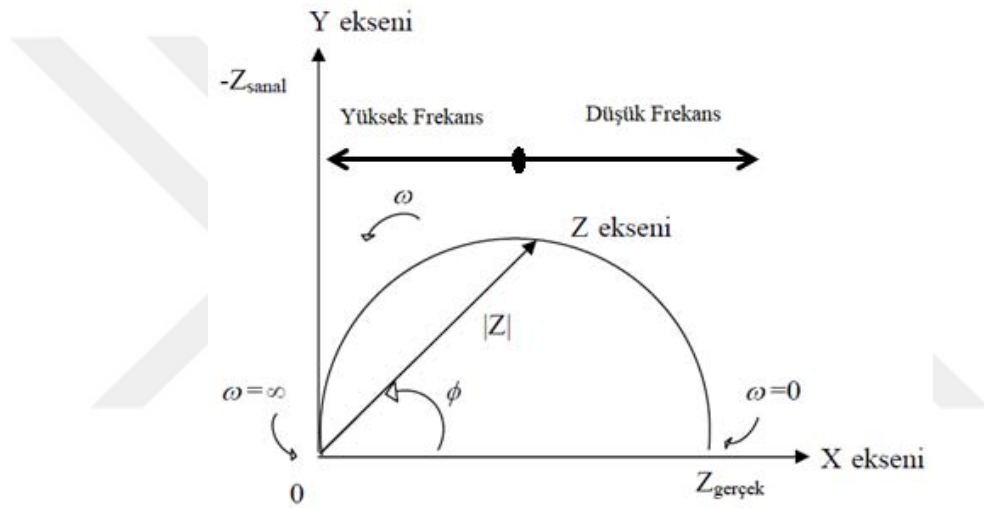
Lineer polarizasyon yöntemi, metallerin korozyon oranı verilerini elde etmek için yaygın olarak kullanılan hızlı ve tahribatsız ölçme yöntemidir. Bu yöntem için malzeme, Açık Devre Potansiyeline (OCP) göre tipik olarak  $\pm 10$ mV aralığında polarize edilmektedir. Çalışma elektrodunun potansiyeli değiştikçe, çalışma ve karşı elektrotlar arasında bir akım akması sağlanmakta ve potansiyel polar akım eğrisinin eğimi alınarak malzemenin polarizasyon direnci hesaplanmaktadır.

#### 1.1.1.3. EIS Yöntemi

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi yöntemi, diğer elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemlerine kıyasla çalışma elektrotunun yüzeyine daha az hasar verdiği için hemen hemen her sektörde kullanımı mevcuttur. Ohm yasası ile anlaşılması daha kolay olan bu yöntem; direnci, voltaj ve akım arasındaki oran açısından tanımlanmaktadır. Ohm yasasına göre;  $R=V/I$  iken alternatif akım kullanımında sistemde frekansın sıfır olmaması veya başka elemanların olması empedans kavramını ortaya çıkarmaktadır.

$$Z=E/I \quad (1.5)$$

Eşitlik (1.5)'te Z empedansı, E voltajı ve I akımı ifade etmektedir. AC yöntemlerinde empedans, 1 mHz–100 kHz frekans ve 5 ile 50 mV genliğinde hücreye küçük bir sinüzoidal potansiyel uygulandığında bu potansiyelle sistem tarafından AC akım sinyali ile yanıt verilir. Sistemin verdiği bu cevap uygulanan potansiyelle aynı şiddette fakat biraz geridedir (Phase Shift). Faz kayması olarak da bilinen empedans değerleri hayali empedans ( $Z_{Im}$ ) ve gerçek empedans ( $Z_{Re}$ ) olarak gösterilmektedir. Bir grafiğin X ekseninde gerçek kısmın ve Y ekseninde hayali kısmın çizilmesi ile "Nyquist Grafiği" elde edilmektedir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Empedansın (Z) bulunması.

Nyquist grafiğinde her nokta bir frekanstaki empedansı ifade etmektedir. Bu grafik düşük frekanslı verilerin grafiğin sağ tarafında ve daha yüksek frekansların solda olduğunu göstermek için açıklanmıştır. Şekil 1.9'da empedans,  $|Z|$  uzunluğunda bir vektör olarak gösterilebilir. Bu vektör ile X ekseninde kalan açı ise faz açısı olarak adlandırılmaktadır. Eşitlik 1.6'da hayali ve gerçek empedansların birbirine göre değişimlerini gösteren Nyquist eğrilerinden istenilen polarizasyon direnci değerlerinin nasıl elde edildiği gösterilmektedir [29].

$$|Z| = \sqrt{Z_{im}^2 + Z_{Re}^2} \quad (1.6)$$

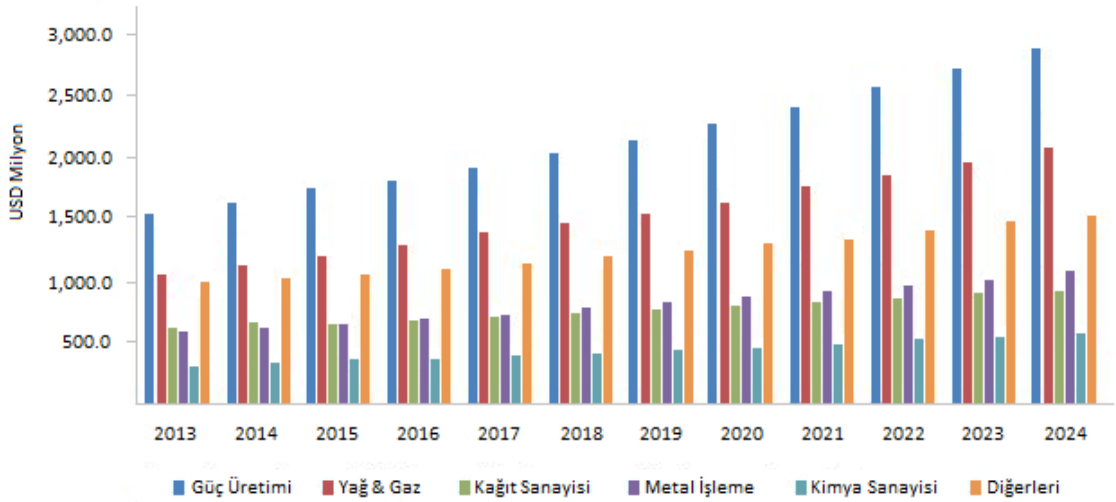
#### 1.1.1.4. DEIS Yöntemi

Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi, çukurcuk korozyonu başta olmak üzere [30], kaplamalarda meydana gelen korozyon mekanizmasının incelenmesinde [31] ve inhibitörlü sistemlerde [32]-[34] başarıyla kullanılan elektrokimyasal ölçme yöntemidir. DEIS, Potansiyostat/Galvanostat ve PCI4461 National Instruments ölçüm kartından oluşmaktadır. Uygulanan sisteme göre değişkenlik gösteren pertürbasyon sinyali 4,5 kHz-700 mHz frekans aralığında 20 sinüsoidden oluşan bir pakettir. 20 mV genliğindeki temel sinüs sinyalleri 2500 ölçüm noktasını içeren Hamming analiz penceresiyle 12,5 kHz'lik örnekleme frekansı uygulayarak dakikada bir empedans ölçümü yapmaktadır. Bu veriler yardımıyla istenilen zaman aralıklarında empedans eğrileri çizilmektedir. Bir sinyalden daha fazla bilgi alınmasına olanak sağlayan DEIS yöntemi, EIS yöntemi ile kıyaslandığında aynı zaman aralığında yüz adet empedans spektrası elde edildiği görülmektedir. DEIS yöntemi diğer yöntemlerle kıyaslandığında sisteme müdahale edilebilmesi, durağan olmayan şartlarda kullanılabilmesi, sistem hakkında anlık bilgi alınabilmesi, sistemdeki değişikliklerin ne zaman meydana geldiğinin görülebilmesi açısından önemli avantajlara sahiptir [35].

## 1.2. İNHİBİTÖRLER

Betonun özelliklerini geliştirmek için çeşitli katkı maddeleri ilave edilirken, hizmet ömrünü uzatmak ve betonarme yapıların daha sonra bozulmasını önlemek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [36], [37]. Bu yöntemler katodik koruma, beton formülasyonu, betonarme çeliğinin yüzey modifikasyonu (galvanizleme, epoksi kaplama, nikel kaplama) ve korozyon inhibitörlerinin eklenmesidir [38], [39].

Korozyon inhibitörleri, yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturarak malzemelerin hizmet ömrünü arttırdığı için son birkaç yıldır popülerlik kazanmaktadır. Özellikle su arıtma, enerji üretimi, inşaat ve madencilik sektörlerinde kullanımının yaygınlaşması önümüzdeki yıllarda ürün talebini de arttıracaktır. 2015 yılında 5,99 milyar ABD doları olan küresel korozyon inhibitörleri pazar büyüklüğünün yükselen metal işleme, enerji üretimi ve inşaat sektörü nedeniyle önemli bir büyüme göstereceği öngörülmektedir [40] (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Korozyon İnhibitörleri Piyasa Hacmi, 2013-2024 (ABD).

İnhibitörler metal ile ortam arasındaki teması keserek ya da ortamda bulunan korozif bileşenleri ortamdaki uzaklaştırarak etki sağlamaktadır [41]. Yapılan çalışmalar, birçok organik ve inorganik bileşiğin, korozif ortama düşük konsantrasyonlarda bile dahil edildiğinde korozyon oranını başarılı bir şekilde azaltabildiğini göstermektedir [42]-[46]. Ortama katkı maddesi olarak eklenen korozyon inhibitörleri, korozyon başlama süresinin uzatılmasına veya yayılma fazındaki oranın azaltılmasına katkıda bulunmaktadır [47].

Geleneksel korozyon inhibitörleri üç kategoriye ayrılır: inorganik, organik ve hibrit [48]. İnorganik nitrit bazlı kimyasal inhibitörler betonarme çeliğini korozyona karşı korumak için uzun zamandır betona etkili bir şekilde uygulanmaktadır [49]-[53], ancak toksisiteleri nedeniyle birçok ülkede yasaklanmıştır [54]-[56]. Bu nedenle, organik inhibitörler, aminler, aldehydler, bitki özleri gibi toksik olmayan, çevre dostu, biyolojik olarak bozunabilir, ucuz ve etkili moleküllerin kullanımının arttığı gözlenmiştir [57]-[62]. İnhibitörler beton yapımı esnasında katkı maddelerine benzer şekilde karışım suyu içinde çözülerek kullanılmaktadır. Beton içine ilave edilen inhibitörlerin sadece betonarme çeliği üzerinde değil, aynı zamanda çimento ve betonun özellikleri üzerinde de önemli etkisi olduğu bilinmektedir [63]. Çalışmalar inhibitör ilavesinin harç özelliklerini etkilediğini [64], erken yaşlarda basınç dayanımını arttırdığını [56] ve hidrasyon ürünlerinde değişikliklere neden olduğunu [65] göstermektedir. Bu doğrultuda ekolojik korozyon inhibitörleri alanında aminler ve alkanolaminler, suda kolay çözünürlükleri ve betonun taze ve sertleşmiş durumları üzerindeki küçük etkileri nedeniyle korozyon önleyici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [45], [66]. Piyasada yaygın olarak kullanılan inhibitörlerin bazıları aşağıda detaylandırılmıştır.

- Kalsiyum Nitrit: Korozyonu engellemek amacıyla betona ilave edilen nitritlerin önemi uzun yıllardan beri bilinmektedir [67]. Beton içinde nitrit iyonu olarak genellikle kalsiyum nitrit kullanılmaktadır. Kalsiyum nitritin beton özellikleri üzerine olumsuz etkisi bulunmamaktadır [68]-[69]. Kalsiyum nitrit, başta köprüler ve otoparklar olmak üzere korozyon inhibitörü olarak birçok yapıda yapım esnasında beton karışımı içine katılarak kullanılmaktadır [70].
- Kromat İnhibitörleri: Sodyum ve potasyum kromat tuzları betonlarda pasifleştirici inhibitör olarak kullanılmaktadır [71], [72]. Kromat iyonu demir yüzeyinde indirgenerek krom oksit veya krom oksihidroksit oluşturmaktadır. Kromat iyonu aynı zamanda demir yüzeyinde oluşan  $Fe^{2+}$  iyonlarını da oksitleyerek demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) haline dönüştürmekte ve demirin pasifleşmesini sağlamaktadır.
- Sodyum Monoflorofosfat İnhibitörü: Betonarme korozyonunun önlenmesinde Sodyum monoflorofosfat inhibitör olarak kullanılmaktadır [73]. Bu inhibitör taze beton karışımında bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek çözünmeyen kalsiyum fosfat ve kalsiyum florür haline dönüştüğü için diğer inhibitörlerden farklı olarak beton karışım suyuna karıştırılarak kullanılamaz. Bu nedenle inhibitör sertleşmiş beton yüzeyinden çözelti halinde uygulanmaktadır. Bu inhibitörün geçirimsiz betonlarda uygulanması ve dozunun ayarlanması oldukça zordur [74].
- Aminler ve Alkanoaminler: Korozyon inhibitörleri içinde, aminler ve alkanoaminler, suda yüksek çözünürlükleri, taze ve sertleşmiş betonun üzerindeki küçük etkileri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [66]. Bu inhibitörlerin betonda yayılma kapasiteleri yüksektir. Servis sırasında karıştırılabilir, tamir harcı veya beton yüzeyine uygulanabilir oldukları için uçucu inhibitörler veya migrasyon inhibitörleri olarak adlandırılmaktadır. Bu inhibitörler metal yüzey üzerinde adsorbe edilebilmekte ve metal ile korozif ortam arasındaki teması önleyerek koruyucu bir bariyer oluşturmaktadır [44].

Betonarme korozyonunu önlemek amacıyla kullanılan inhibitörlerin etkisi uzun yıllardan beri araştırılan konulardandır. Ancak bunların korozyonu önlemede ne derece etkili oldukları henüz tam anlamıyla belirlenememiştir. İnhibitörlerin kullanılabilirliği ortam koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla inhibitörlerin etkinlik derecelerini belirlemek pratik uygulamalarda zor olduğu için deneysel olarak çalışmalar yapılmaktadır.

### 1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarme sistemlerin karmaşıklığı nedeniyle beton içerisine gömülü donatı çeliğinin korozyonunu araştırmak uzun süreli bir yöntem olduğu için son zamanlarda yapılan çalışmaların çoğu beton boşluk suyu çözeltisi ortamında gerçekleştirilmektedir [75]-[78]. Çimentoyu oluşturan ve kimyasal potansiyel olarak aktif durumda olan klinker bileşikleri su ile kolaylıkla reaksiyona girerek çözüldükten sonra çözeltide hidroliz reaksiyonları meydana gelmektedir. Çimentoların su ile yaptıkları bu kimyasal reaksiyonlar hidratasyon olarak tanımlanmaktadır [79], [80]. Donatı çeliğinin korozyon davranışını belirlemek için çimento hidratasyon ürünü olan beton boşluk suyu çözeltisi (KOH, NaOH ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), betonun alkalilik ortamını taklit etmek için kullanılan bir çözüm yöntemidir [81]-[86].

Betonarme yapılarda korozyonun meydana gelmemesi için tasarım aşamasında öncelikle yüksek kaliteli beton yani düşük su/çimento oranı tercih edilmeli, mümkün olduğu kadar uzun süre kütleme yapılmalı ve yeterli paspayı bırakılmalıdır. Ayrıca bunlara ek olarak özel karışimli çimentolar, korozyon önleyiciler, harici beton kaplamalar, korozyona dayanıklı donatılar, katodik koruma gibi yöntemler de ağır çevre koşullarında veya çok uzun hizmet ömrü gerektiren yapılarda kullanılmaktadır [87]. Bu yöntemler arasında, korozyon inhibitörlerinin kullanımı düşük maliyet ve kullanımlarının kolaylığından dolayı en çok tercih edilen yöntemdir [88], [89]. Korozyon inhibitörleri beton karışımına sıvı katkı maddesi olarak eklenmekte veya sertleştirilmiş beton yüzeyine uygulanmaktadır. Nitrit bazlı bileşikler en etkili korozyon inhibitörleri olarak bilinmekte ve ticari ürünler olarak 1970 yılından beri kullanılmaktadır [90], [91]. Ancak nitrit bazlı inhibitörler, az miktarda eklendiğinde toksisite, mekanik kayıp ve riskli etkiler gibi çeşitli dezavantajlara neden olmaktadır [92].

Yapılan bir çalışmada kalsiyum nitritin korozyon inhibitörü olma özelliği polarizasyon yöntemi kullanılarak araştırılmış ayrıca betonun basınç dayanımı üzerine etkisi de değerlendirilmiştir. Kalsiyum nitrit esaslı korozyon önleyicinin klorürle kirlenmiş harçtaki çeliğin korozyon hızını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Korozyon inhibitörünün erken yaşlarda (28 gün) basınç dayanımını arttırdığı ancak uzun vadede (900 gün) azalttığı görülmüştür [56]. Kalsiyum nitrit, sodyum nitrit ve acı yaprak (*vernonia amygdalina*) ekstresinin %3,5 NaCl çözeltisine ve çeşme suyuna maruz bırakılan betonlarda takviye edilmiş karbon çeliğin korozyon davranışları üzerindeki

etkisi, yarı-hücre potansiyeli ve beton direnç ölçme teknikleri kullanılarak incelendiği bir çalışmanın sonuçlarına göre kalsiyum nitrit ve acı yaprağı ekstraktının, sodyum nitrit ile karşılaştırıldığında, inşaat demirinde korozyon hızını düşürdüğü ve acı yaprağı ekstraktının betonarme korozyonuna karşı mükemmel bir inhibitör olarak etkili olduğunu göstermiştir [93]. Bir diğer çalışmada nitrit iyonlarının çimento harcı içerisine yerleştirilen çeliğin korozyon davranışları üzerindeki etkisi, yarı hücre potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, nitrit iyonlarının katot ve anodun polarizasyon oranları üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir [94]. Bir başka çalışmada taze ve sertleşmiş betona eklenen sodyum nitrat bazlı bir inhibitörün beton özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda sodyum nitrit ilave edilen beton küplerin basınç dayanımının inhibitörsüz çimentoya kıyasla %8,8 oranında daha yüksek olduğu yani betonun mukavemetini arttırdığı kanıtlanmıştır [95].

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda, betonun sürdürülebilirliğini sağlamak için toksik olan inorganik ve organik inhibitörlerin yerine çevre dostu ve toksik olmayan inhibitörlerin kullanılmasına odaklanılmaktadır. Bu toksik olmayan, kokusuz, renksiz, insan ve çevreye zararsız, ucuz, suda ve kullanıldığı ortamda kolaylıkla çözünebilen korozyon inhibitörleri genellikle bitkilerden, doğal polimerler ve amino asitler gibi kaynaklardan kolaylıkla temin edilmektedir [25], [96], [97].

Kafeinin yumuşak çelik için adsorpsiyon özellikleri ve korozyon önleme etkinliğinin, sülfürik asit ortamında değerlendirildiği çalışmada, artan kafein konsantrasyonu ile inhibitör etkinliğinin arttığı belirlenmiştir. Sunulan sonuçlara göre, kafeinin yumuşak çelik yüzeyine kimyasal adsorpsiyon mekanizması ile adsorbe olduğu tespit edilmiştir. Yumuşak çelik üzerine adsorbe edilen kafein varlığı, korozyon testlerinden sonra yapılan yüzey mikrografları ile doğrulanmıştır. Genel bir sonuç olarak, kafeinin, asit çözeltilerindeki yumuşak çelik için çevre dostu bir korozyon inhibitörü olarak iyi bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir [98]. Yapılan başka çalışmada, kafeinin nitrik asit çözeltisinde bakır için etkili bir inhibitör olduğu ve inhibisyon etkinliğinin konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Kafein moleküllerinin bakır yüzeyine Langmuir adsorpsiyon izotermiyle inhibe olduğu gözlenmiştir. Kuantum kimyasal hesaplamaları, kafeinin adsorpsiyonunun esas olarak moleküldeki heteroatomlar (oksijen ve azot atomları) etrafında yoğunlaştığını ortaya çıkarmıştır [99]. Hidroklorik asit ortamında yumuşak çelik için kafeinin inhibisyon davranışının

araştırıldığı çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kafeinin metal çözünmesini ve ayrıca hidrojen reaksiyonlarını önlediği tespit edilmiştir. Kafeinin adsorpsiyonuna bağlı olarak mükemmel inhibisyon aktivitesi gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca teorik hesaplamalar, kuantum ve deneysel parametreler arasında bir korelasyon olduğunu göstermiştir [100].

L-arjininin %3,5 NaCl çözeltisinde çelik korozyonu için inhibitör etkinliği elektrokimyasal yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlara göre inhibitör konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak hem yük transfer direncinin hem de inhibisyon etkinliğinin arttığı görülmüştür [101]. L-arjininin rezervuar suyunda çelik için inhibitör etkinliği elektrokimyasal ölçümler (EIS, TP ve LP ölçümleri) ve Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. İnhibitör konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak hem yük transfer direncinin hem de inhibisyon etkinliğinin artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Moleküler modellemenin, yüzey sıcaklığı, pH ve çözelti kimyası gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, gerçek sentezlerde ve test çalışmalarında zaman ve enerji tasarrufu çabalarında popüler hale geldiği belirtilmiştir [102]. Yapılan başka bir çalışmada L-arjininin hidroklorik asit ortamında çelik için korozyon davranışı hem kimyasal hem de elektrokimyasal ölçümler kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar inhibitör konsantrasyonunun artışı ile paralel olarak korozyon direncinin de arttığını göstermiştir. Kimyasal ve elektrokimyasal ölçümlerden elde edilen verilerin birbirleriyle uyumlu olduğu ve L-arjininin asidik çözeltilerde çelik korozyonuna karşı yeterli koruma sağladığı belirtilmiştir [103].

İnşaat demirlerinin yüksek hidroksit konsantrasyonlarına sahip solüsyonlara maruz bırakıldığında yüzey pasifleşmesinin arttığı gözlenmiştir. Pasif bölgede kaydedilen akım yoğunluklarının elektrolit içinde artan  $[OH^-]$  ile azaldığı ve pasifleşme derecesi ile çözeltinin alkalitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğu gözlenmiştir [9]. Kütle kaybı ve EIS yöntemi kullanılarak SCPS çözeltisine ilave edilen polivinilalkol (PVA)'nın inhibitör olarak kullanılabileceği gözlenmiştir. EIS yöntemi sonucunda elde edilen veriler, metal yüzeyi üzerinde koruyucu bir filmin oluştuğu ortaya koyulmuş, SEM görüntüleriyle de metal yüzeyinde koruyucu tabakanın oluşumu desteklenmiştir [104]. Bir başka çalışmada simüle edilmiş beton çözeltilerine ilave edilen fitik asitin inşaat demiri üzerinde film oluşturarak etkili bir inhibitör olarak kullanılabileceği kütle kaybı, EIS, TP yöntemleri sonucunda elde edilmiştir [94]. Bir diğer çalışmada TP ve EIS yöntemleri kullanılarak, çelik numunelerin yüzeyleri Raman spektroskopisi ve SEM ile araştırılmıştır. Beton boşluk suyu çözeltisinde klorür ve inhibitör konsantrasyonlarının

pH değerine bağlı olarak değiştiği ve kritik pH değerinin 10,5 olduğu raporlanmıştır [105]. Jiang vd. yaptığı çalışmada elik elektrotun korozyon mekanizmasını yapay boşluk suyu çözeltisi ortamında Deoksiribonükleik asit (DNA) molekülünün inhibitör etkisini araştırmışlardır. Farklı konsantrasyonda kullanılan DNA inhibitörünün, elik elektrotun yüzeyinde yoğun bir film oluşturarak korozyon direncini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir [106].



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN REAKTİFLER

Korozyon deneyleri beton boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında yapılmıştır. Karışım suyu olarak Düzce ili çeşme suyu kullanılmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Karışım suyunun kimyasal bileşimi.

İyonlar (mg/L)										
F	Cl	NO <sub>2</sub>	Br	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Na	K	Mg	Ca
0,1	12,4	BDL1	BDL1	0,1	19	BDL1	26,2	1,3	8,4	45,3

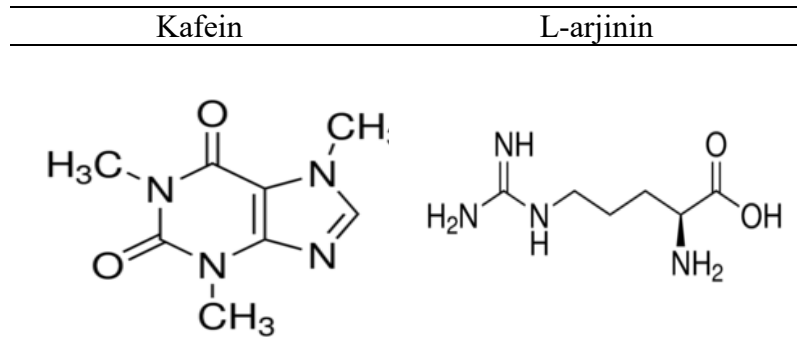
\* BDL1: Algılama Sınırının Altında

Beton boşluk suyu çözeltisinin (SCPS) kimyasal bileşimi Çizelge 2.2’de verilmiştir [22].

Çizelge 2.2. Beton boşluk suyu çözeltisinin kimyasal bileşimi ve nominal pH değeri.

Reaktifler	Miktar (mol/L)
	SCPS pH $\approx$ 13,5
Na(OH)	0,1
KOH	0,2
Ca(OH) <sub>2</sub>	0,012

Beton boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarına 50 ppm kafein ve 50 ppm L-arjinin ilave edilerek inhibitörlü çözeltiler hazırlanmıştır. Sigma Aldrich ve Merck’ten temin edilen kafein ve L-arjinin bileşiklerinin molekül yapıları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kullanılan inhibitörlerin molekül yapısı.

## 2.2. KOROZYON VE ÇİMENTO DENEYLERİNDE KULLANILAN MALZEMELER

Korozyon ölçümleri için Erdemir Çelik Fabrikasından temin edilen TS 708'e [107] uygun III-a B420, Ø14 nervürlü donatı çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Nervürlü donatı çeliğinin kimyasal bileşimi (kütlece %).

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	W	Zn	Fe
B420	0,23	0,22	0,55	0,013	0,04	0,15	0,044	0,11	0,28	<0,001	<0,005	0,014	98,231

Çimento harç numuneleri için Nuh Çimento Fabrikası tarafından tedarik edilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Portland çimentosunun (PÇ) kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Portland çimentosunun kimyasal bileşimi (kütlece %).

Kimyasal bileşim: wt. %												
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Kızdırma Kaybı	Serbest CaO	Cl <sup>-</sup>	Çözünmez kalıntı	
18,58	4,03	3,66	64,36	1,69	3,35	0,56	0,15	2,93	2,15	0,0086	0,26	

### 2.2.1. Korozyon Deneyleri için Donatı Numunelerinin Hazırlanması ve Deneylerin Yapılması

Korozyon deneylerinde kullanılmak üzere kimyasal analizi Çizelge 2.3'te verilen donatı çelikleri 1 cm kalınlığında kesilerek deney hücresine uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 2.2).



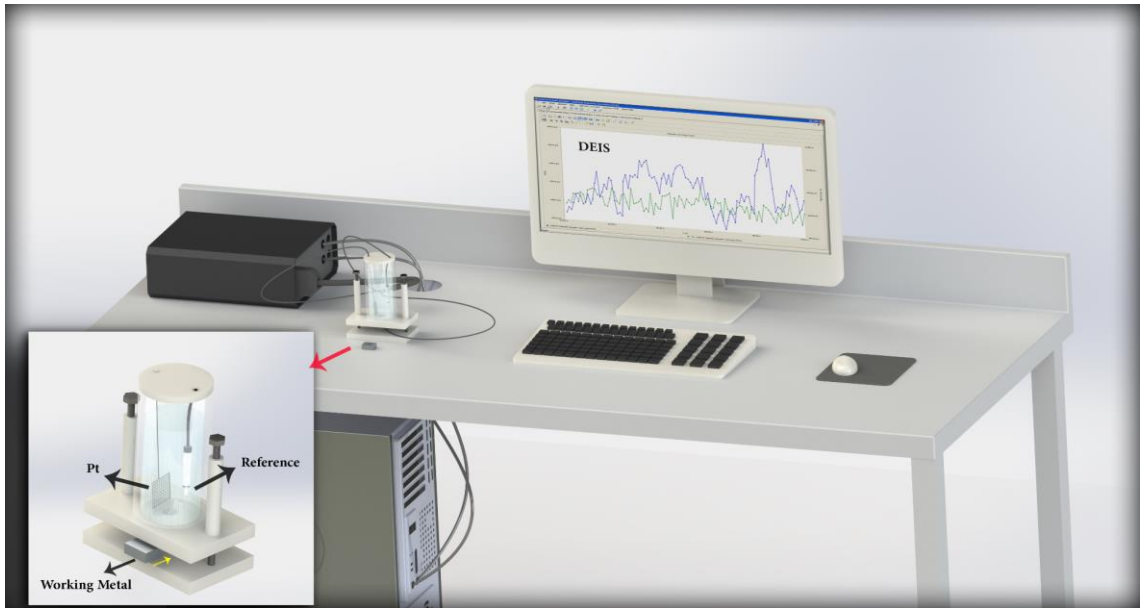
Şekil 2.2. Korozyon deneylerinde kullanılan nervürlü betonarme çeliği.

Metaller çözelti ortamına bırakılmadan önce kesilen metallerin yüzeyleri zımpara makinesi ile 400-2000 numaralı zımpara kâğıtları kullanılarak temizlenmiştir. Zımparalanan metal yüzeyleri saf su ile yıkandıktan sonra numune kaplarına yerleştirilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Metallerin zımparalanması ve numune kaplarına yerleştirilmesi.

İnhibitörlü ve inhibitörsüz çözelti ortamlarına 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süre ile maruz bırakılan donatı çeliklerinin korozyon mekanizması; korozyon ölçüm metotlarından DEIS, EIS ve TP yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Deney sonrasında numune yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimler SEM ve EDS, AFM, OP analizleriyle ortaya konulmuştur. Elektrokimyasal korozyon deneyleri için çözelti bulunan korozyon hücresine çalışma elektrotu, platin elektrot ve Ag/AgCl referans elektrot konularak deney düzeneği oluşturulmuştur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Korozyon Deney Düzeneği.

## 2.2.2. Çimento Deneyleri için Çimento Harçlarının Hazırlanması ve Deneylerin Yapılması

Hidratasyona tabi tutulacak referans (Portland çimento) ve inhibitör ilaveli çimentolar, 10 g ağırlığında %35 su/çimento oranına uygun olarak hazırlanmıştır. 25, 50 ve 75 ppm oranında kafein ve L-arjinin suda çözdürülerek inhibitör ilaveli çimento hamurları oluşturulmuştur. Hazırlanan harçlar 24 saat nemli ortamda bekletilmiş ve 28. günde deneylere uygun hale getirilmiştir. Ayrıca çimento basınç dayanımı deneyleri için 40x40x160 mm boyutlarında referans ve inhibitör katkılı olarak hazırlanan çimento harçları 2, 7 ve 28 gün küre tabi tutulmuştur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Çimento harcının hazırlanması.

Çalışmada kullanılan inhibitörlerin çimentonun hidratasyonu üzerine etkilerini belirlemek için hacim genleşmesi tayini, priz süresi, su ihtiyacı, basınç dayanımı (TS-EN 196-1) testleri yapılmıştır [2]. Ayrıca çimento hamurlarının 28 günlük hidratasyon sırasında mineralojik yapısının ve faz gelişiminin belirlenmesi amacıyla DTA-TGA, FT-IR, XRD analizleri yapılmış ve SEM ile mikro yapıları belirlenmiştir.

## 2.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

### 2.3.1. EIS Analizi

İnhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyu ve boşluk suyu çözeltisine maruz bırakılan donatı çeliğinin korozyon potansiyeli GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde 0,01 Hz-100 kHz frekans aralığında yapılmıştır. Elde edilen veriler ZSimpWin 3.21 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

### 2.3.2. DEIS Analizi

DEIS ölçümlerinde kullanılan cihaz, Potansiyostat/Galvanostat ve PCI-4461 National Instruments Ltd. ölçüm kartından oluşmaktadır. Aynı kart, 12,5 kHz örnekleme

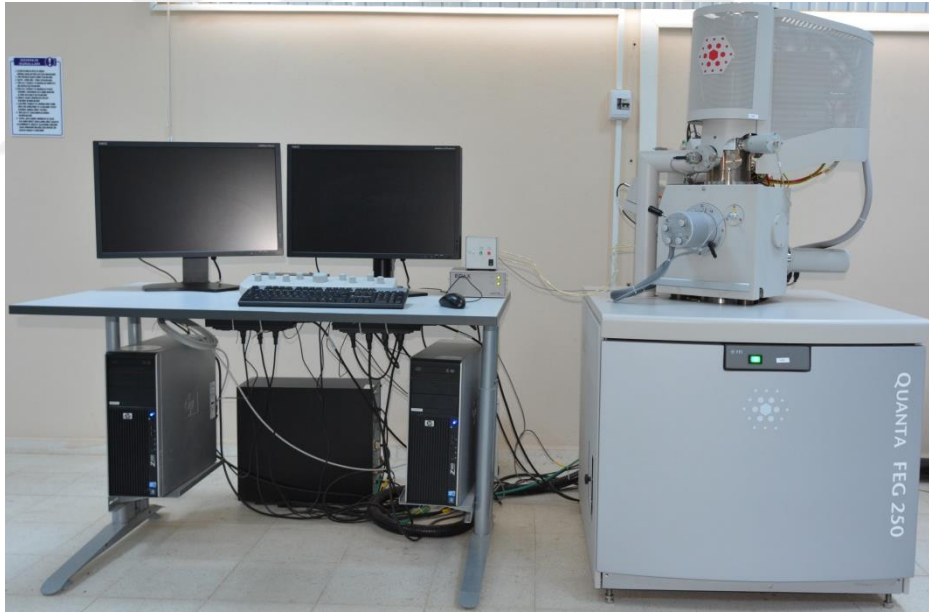
frekansına sahip akım pertürbasyon ve voltaj tepki sinyallerinin ölçümü için kullanılmıştır. Ölçümler 4,5 kHz-300 mHz frekans aralığında ve 10 noktada bir frekans ölçümüyle yapılmıştır. Elde edilen veriler ZSimpWin 3.21 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

### 2.3.3. TP Analizi

Tafel Ekstrapolasyon yönteminde polarizasyon eğrilerinin elde edilmesi için çalışma elektrotunun referans elektroda karşı denge potansiyeli 100 saniye süreyle ölçüldükten sonra anodik ve katodik yöne doğru  $\pm 250$  mV aralığında 1 mV/s hızla tarama yapılmıştır. Elde edilen veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

### 2.3.4. SEM-EDS Analizi

Elektrokimyasal korozyon deneyleri sonrasında donatı çeliği yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için SEM ve EDS analizleri J. Quanta FEG 250 (FEI, Holland) modeli cihaz ile yapılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. SEM-EDS analiz cihazı.

### 2.3.5. OP Analizi

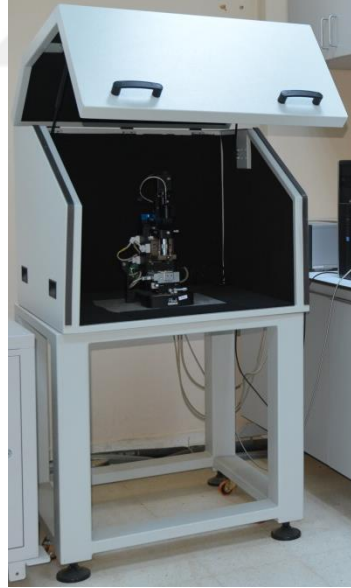
Elektrokimyasal korozyon deneyleri sonrasında çalışılan ortamlarda metal yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için yapılan OP analizlerinde Phaseview Zeescope model cihaz kullanılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. OP cihazı.

### 2.3.6. AFM Analizi

Elektrokimyasal korozyon deneyleri sonrasında çalışılan ortamlarda metal yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için Park system XE-100E model cihaz kullanılarak AFM analizleri yapılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. AFM cihazı.

### 2.3.7. Tane Boyut Analizi

Tane boyut analizleri Hosokawa Alpine e 200 LS marka cihaz ile yaş metot uygulanarak Nuh Çimento A.Ş.'de yapılmıştır.

### 2.3.8. Özgöl Yüzey Tayini

Özgöl yüzey tayini Rantek Material Blaine cihazı ile TS EN 196-6 “Çimento Deney Metotları” standardına [108] göre Nuh Çimento A.Ş.’de yapılmıştır.

### 2.3.9. Özgöl Ağırlık Tayini

Özgöl ağırlık tayini Micromeritics marka AccuPyc II 1340 model piknometre cihazı ile Nuh Çimento A.Ş.’de yapılmıştır.

### 2.3.10. FT-IR Analizi

Referans alınan çimento ile farklı konsantrasyonlarda (25, 50 ve 75 ppm) ilave edilen kafein ve L-arjininin 28. gün hidrasyon sonrasında numunelerde meydana gelebilecek kafes ve moleküler yapılarının belirlenmesi amacıyla FT-IR analizleri Agilent Technologies CARY 630 model cihaz ile Düzce Üniversitesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı’nda yapılmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. FT-IR Cihazı.

### 2.3.11. XRD Analizi

28. gün hidrasyon sonrasında referans alınan çimento ile farklı konsantrasyonlarda kafein ve L-arjinin katkılı numunelerin minerolojik yapıları Rigaku Smartlab marka cihaz kullanılarak Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Teknoloji ve AR-GE Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde yapılmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. XRD Cihazı.

### 2.3.12. Termal Analiz

Numunelerin hidrasyon sonrası termal analizleri (DTA-TGA) Mettler Toledo TGA/DSC2 Star System model cihaz yardımıyla Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde belirlenmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. DTA-TGA Cihazı.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

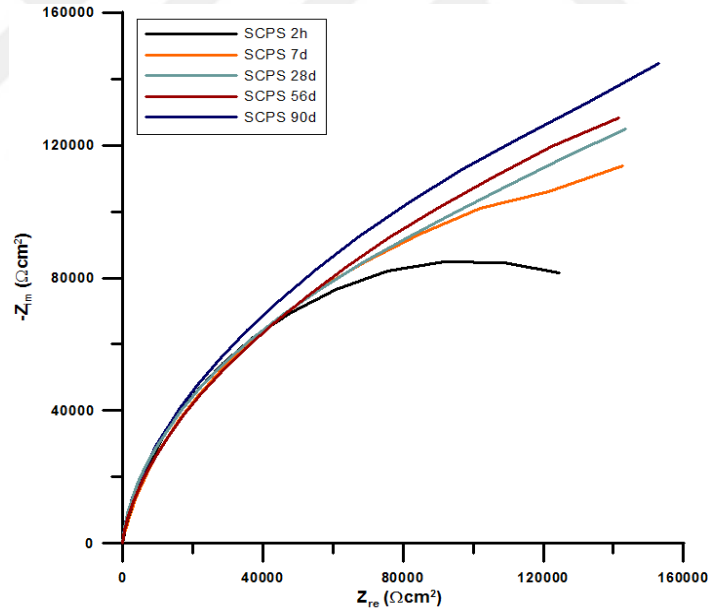
#### 3.1. KOROZYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ

##### 3.1.1. EIS Yöntemi

2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün (2h, 7d, 28d, 56d, 90d) süreyle inhibitörlü (50 ppm kafein ve 50 ppm L-arjinin) ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyu ve boşluk suyu ortamlarına maruz bırakılan donatı çeliklerinin korozyon davranışı oda sıcaklığında 2 saat süren açık devre potansiyeli (OCP) sonunda hesaplanmıştır.

##### 3.1.1.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

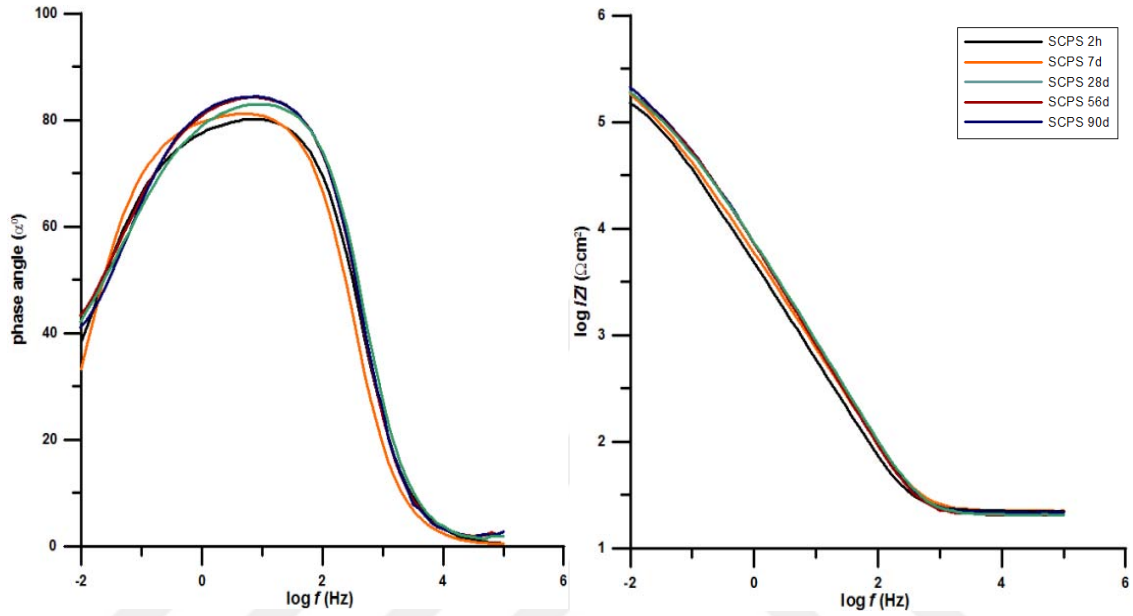
Donatı çeliklerinin boşluk suyu çözeltisinde EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

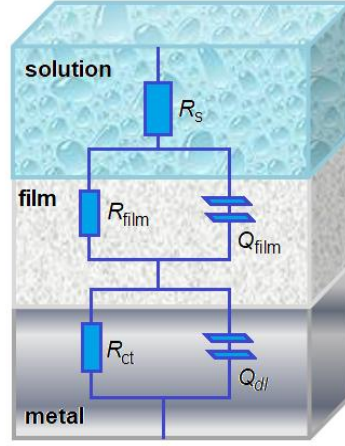
Şekil 3.1’de tüm Nyquist diyagramlarının ideal yarı daire olmadıkları görülmektedir. 2 saatlik maruz kalma süresi sonunda elde edilen sonuca göre yarı dairenin diğerlerine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Nyquist diyagramlarında görüldüğü gibi, donatı çeliklerinin yarı dairesinin büyüklüğü:  $2h < 7d < 28d < 56d < 90d$  şeklinde değişmiştir. Beklenen sürenin artmasıyla doğru orantılı olarak yarı dairelerin büyüdüğü yani donatı

çeliğinin korozyon hızının yavaşladığı anlaşılmaktadır. Nyquist diyagramının beklenen yarım daire eğrisinden düz çizgi desenine sapması, mekanizmanın difüzyon kontrollü olduğunu ve çözelti içerisinde yer alan maddelerin metal/çözelti arayüzünün korozyonunu en aza indirerek çözeltinin alkanitesinden kaynaklı (pH=13.7) pasif bir filmin oluştuğunu göstermektedir. Şekil 3.2’de elde edilen Bode-Angle diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları.

Şekil 3.2’de yer alan Bode diyagramları incelendiğinde 2 saat sonunda elde edilen  $\log |Z|$  değerinin  $5,17 \Omega.cm^2$  olduğu ve bu değer 90 gün sonunda  $5,32 \Omega.cm^2$ ’ye yükseldiği görülmektedir. Benzer şekilde faz açısının 2 saat sonunda  $75^\circ$  ile en düşük değere sahip olduğu ve 90 gün sonunda  $83^\circ$ ’ye arttığı gözlenmiştir. Bu durum bekleme süresinin artmasına paralel olarak yüzeyde meydana gelen pasif film ile ilişkilendirilmektedir [52]. Elde edilen Nyquist diyagramları, ZSimpWin 3.21 programı kullanılarak literatüre uygun olarak çeliğin alkalin ortamdaki davranışını tanımlamak için kullanılan  $R(QR)(QR)$  eşdeğer devre modeli (Şekil 3.3) ile analiz edilmiştir [109].



Şekil 3.3.  $R(QR)(QR)$  devresi.

Bu devre, yük transfer direnci ( $R_{ct}$ ) ve metal yüzeyin düşük frekanslarda çift katmanlı kapasitansı ( $CPE_{dl}$ ) ile seri olarak daha yüksek frekanslarda yüzeyde oluşan filme ait direnç ( $R_{film}$ ) ve kapasitans ( $CPE_{film}$ ) içermektedir. Bu tez çalışmasında kondansatör elemanın yerine sabit faz elemanı kullanılmıştır. Elektrokimyasal sistemlerde metal yüzeyin mükemmel bir kapasitör olarak hareket ettiğine inanılmadığı için çift tabakayı modellemek amacıyla sabit fazlı bir eleman tanımlanmaktadır. Elektrokimyasal sistemlerde kapasitans özelliklerinin yetersizliği, metal yüzeyin homojen olmasından kaynaklanmaktadır. CPE: CPE büyüklüğünü ifade eden  $Q$  ve yarım dairelerin ideal bir kapasitif davranıştan sapmasını açıklayan "n" parametresinden oluşmaktadır. n değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir ve 1'e eşitse, yüzeyin ideal bir kondansatör görevi gördüğünü göstermektedir. Başka bir deyişle, n değeri ne kadar yüksek olursa, çelik yüzeyin daha düzgün bir film ile kaplandığı anlamına gelmektedir [109].

Deney sonuçlarının analizleri ZSimpWin programında uyumluluğu gösteren ki-kare dağılımı ( $\chi^2$  dağılımı) dikkate alınarak hesaplanmıştır.  $\chi^2$  değeri Eşitlik (3.1) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\chi^2 = \frac{(\text{Gözlenen} - \text{Beklenen})^2}{(\text{Beklenen})} \quad (3.1)$$

$\chi^2$  dağılımı sıfır değerine ne kadar yakınsa devre analizlerinin uyumluluğu o kadar iyi demektir. Tüm EIS ve DEIS verileri,  $\chi^2$  değerleri en az  $10^{-4}$  olacak şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

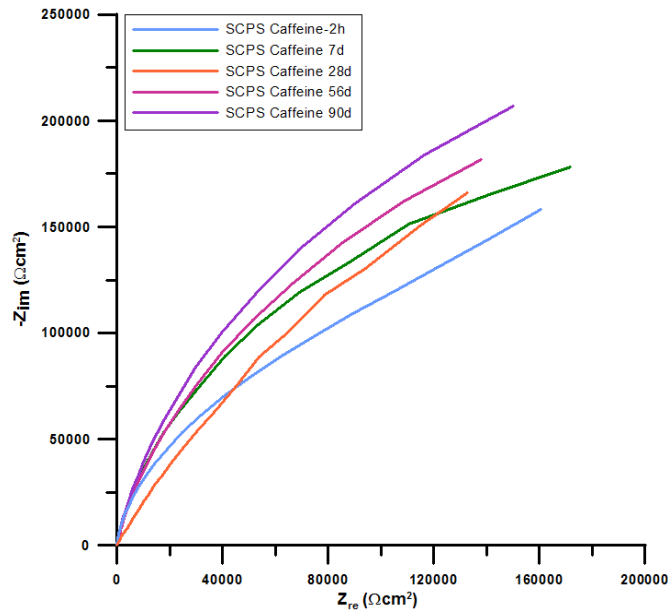
Çizelge 3.1. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$ ( $\Omega$ )	$CPE_f$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_f$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_f$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$CPE_{dl}$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_{dl}$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_{ct}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$R=R_f+R_{ct}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	Yüzdece Değişim %
2h	17,27	9,15E-05	0,93	17500	5,02E-05	0,91	130200	147700	-
7d	17,51	7,45E-05	0,94	20700	5,13E-05	0,92	146800	177500	16,8
28d	16,06	7,33E-05	0,95	32190	5,11E-05	0,93	212100	244290	39,5
56d	16,01	4,44E-05	0,96	37030	4,64E-05	0,94	210200	247230	40,3
90d	16,92	3,65E-05	0,99	37820	1,01E-05	0,95	234200	272020	45,7

Çizelge 3.1 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasıyla paralel olarak donatı çeliğinin korozyon direncinin arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri 147700  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde 272020  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzde değişimin yaklaşık %46 olduğu görülmektedir.

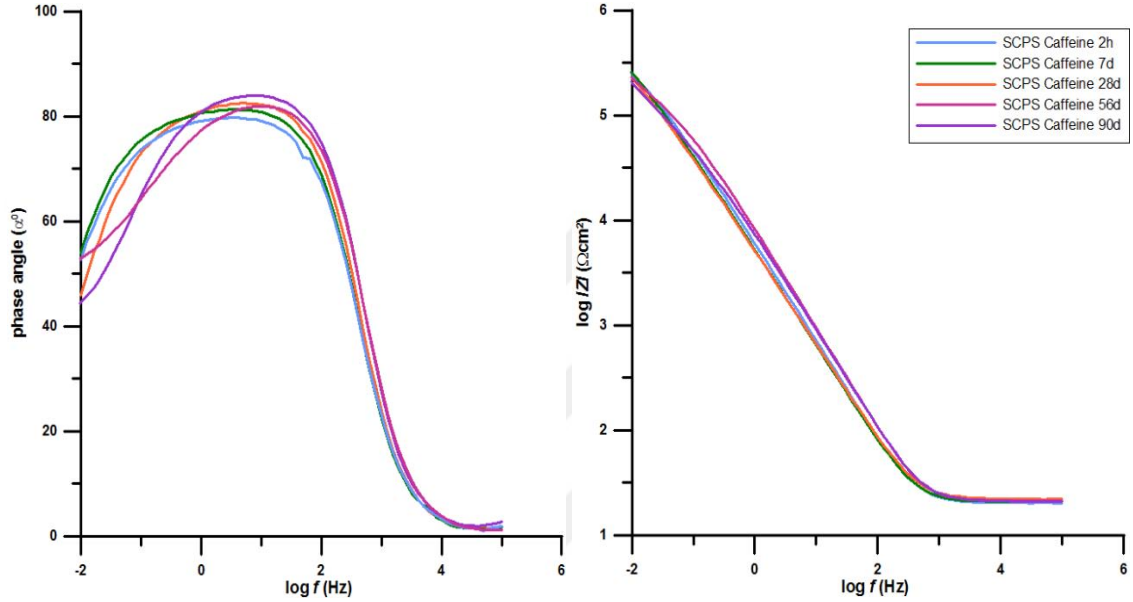
### 3.1.1.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

Donatı çeliğinin kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

Nyquist diyagramlarının ideal yarı daire olmadıkları görülmektedir. Boşluk suyu ortamında elde edilen Nyquist diyagramlarına benzer şekilde 2 saat sonunda gözlemlenen yarı dairenin en küçük çapa sahip olduğu görülmektedir. Bekleme süresinin artışı ile paralel olarak yarı dairelerin çaplarının 2h<7d<28d<56d<90d şeklinde değiştiği gözlenmiştir. Nyquist diyagramlarının boşluk suyu ortamında elde edilen diyagramlarla benzer mekanizmaya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.5'te elde edilen Bode-Angle diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları.

Şekil 3.5'te yer alan Bode diyagramları incelendiğinde 2 saat sonunda elde edilen  $\log |Z|$  değerinin  $5,30 \Omega.cm^2$  olduğu ve bu değer 90 gün sonunda  $5,36 \Omega.cm^2$ 'ye yükseldiği görülmektedir. Benzer şekilde faz açısının 2 saat sonunda  $77^\circ$  ile en düşük değere sahip olduğu ve 90 gün sonunda  $85^\circ$ 'ye arttığı gözlenmiştir. Bu durum inhibitör ilavesiyle pasif filmin yüzey kaplama alanını arttırdığı, yani pasifliğin, çelik donatıların tüm yüzeylerinde inhibitör tarafından elde edildiği anlamına gelmektedir [52], [110], [111]. EIS yöntemi sonucunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

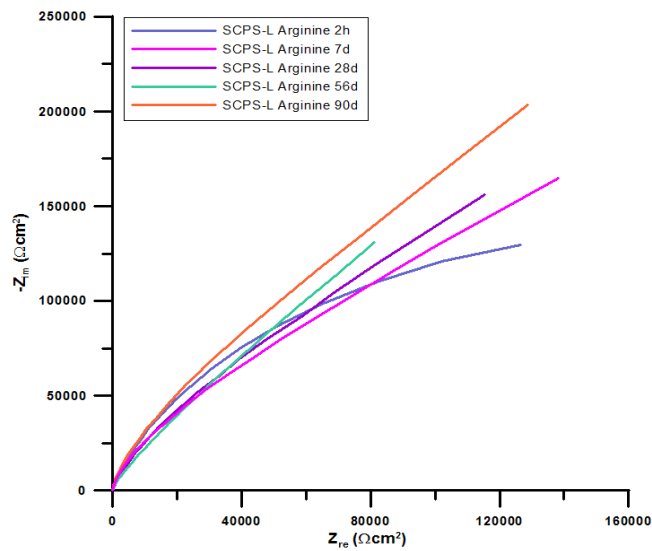
Çizelge 3.2. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	%
2h	16,07	7,60E-05	0,66	15970	2,67E-04	0,77	212846	228816	-
7d	16,24	5,69E-05	0,89	50590	2,57E-04	0,85	268100	318690	28,2
28d	16,53	5,28E-05	0,90	74450	1,98E-04	0,88	297495	371945	38,5
56d	17,22	4,27E-05	0,92	58950	4,21E-05	0,90	352345	411295	44,4
90d	17,61	3,73E-05	0,95	38720	2,39E-06	0,94	430452	469172	51,2

Çizelge 3.2 incelendiğinde kafein ilaveli boşluk suyu ortamında bekleme süresinin artmasıyla paralel olarak donatı çeliğinin korozyon direncinin arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri 228816  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde 469172  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2 saat sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %51 olduğu görülmektedir.

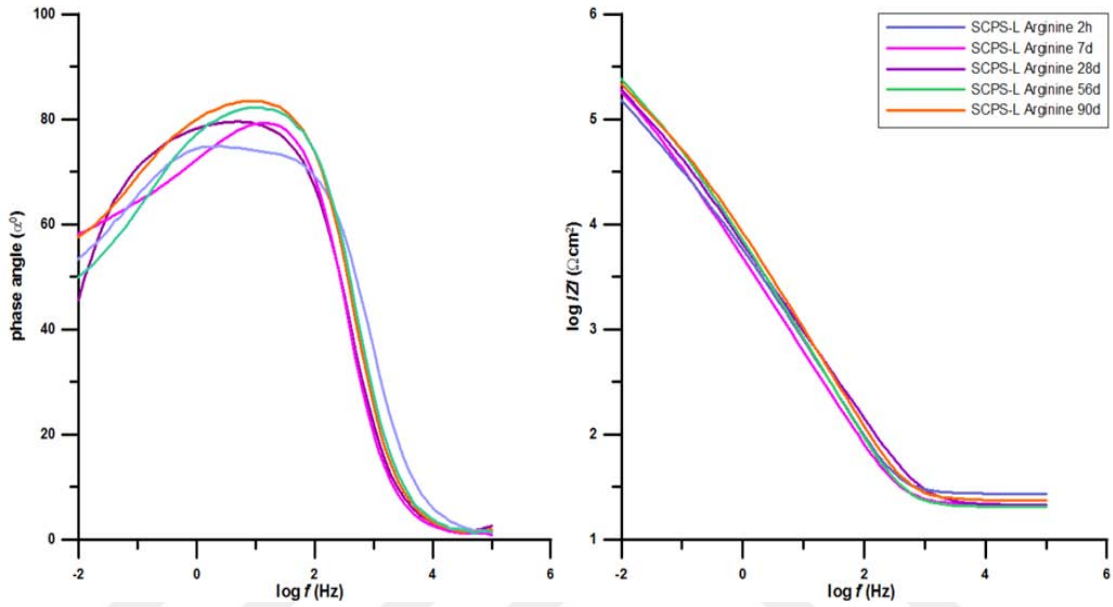
### 3.1.1.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

Donatı çeliğinin L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisi ortamında EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

Şekil 3.6'da Nyquist diyagramlarının ideal yarı daire olmadıkları ve donatı çeliklerinin yarı daire çaplarının  $2h < 7d < 28d < 56d < 90d$  şeklinde değiştiği görülmektedir. Nyquist diyagramlarının boşluk suyu ve kafein ilaveli boşluk suyu ortamlarında elde edilen eğrilerle benzer mekanizmaya sahip olduğu ve çözelti içerisinde yer alan maddelerin metal/çözelti arayüzünün korozyonunu en aza indirerek pasif bir filmin oluştuğunu göstermektedir. Şekil 3.7'de elde edilen Bode-Angle diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.7. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Bode-Angle diyagramları.

Şekil 3.7'de yer alan Bode diyagramları incelendiğinde 2 saat sonunda elde edilen  $\log |Z|$  değerinin  $5,18 \Omega.cm^2$  olduğu ve bu değer 90 gün sonunda  $5,38 \Omega.cm^2$ 'ye yükseldiği görülmektedir. Benzer şekilde faz açısının 2 saat sonunda  $77^\circ$  ile en düşük değere sahip olduğu ve 90 gün sonunda  $86^\circ$ 'ye arttığı gözlenmiştir. Bu durum inhibitör ilavesiyle pasif filmin yüzey kaplama alanını arttırdığı, yani pasifliğin, çelik donatıların tüm yüzeylerinde inhibitör tarafından elde edildiği anlamına gelmektedir [52], [110], [111]. EIS yöntemi sonucunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

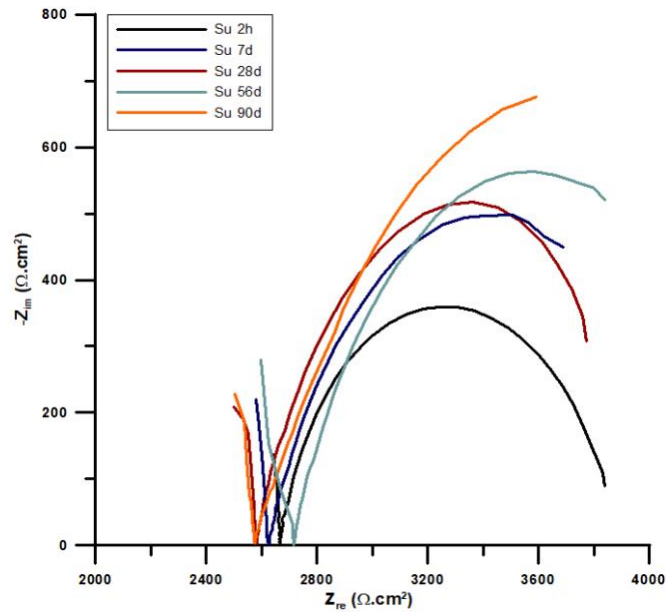
Çizelge 3.3. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	%
2h	15,99	1,21E-04	0,84	14640	1,01E-04	0,85	229800	244440	-
7d	16,39	8,83E-05	0,84	19446	7,43E-05	0,91	277600	297046	17,7
28d	18,45	8,02E-05	0,90	24940	7,14E-05	0,92	310000	334940	27,0
56d	20,49	6,65E-05	0,93	28750	6,22E-05	0,93	458700	487450	49,9
90d	21,06	6,55E-05	0,95	30380	4,59E-05	0,95	460100	490480	50,2

Çizelge 3.3 incelendiğinde L-arjinin ilaveli boşluk suyu ortamında daldırma süresinin artmasıyla paralel olarak donatı çeliğinin korozyon direncinin de arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri 244440  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde 490480  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sürede elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin %50 olduğu görülmektedir.

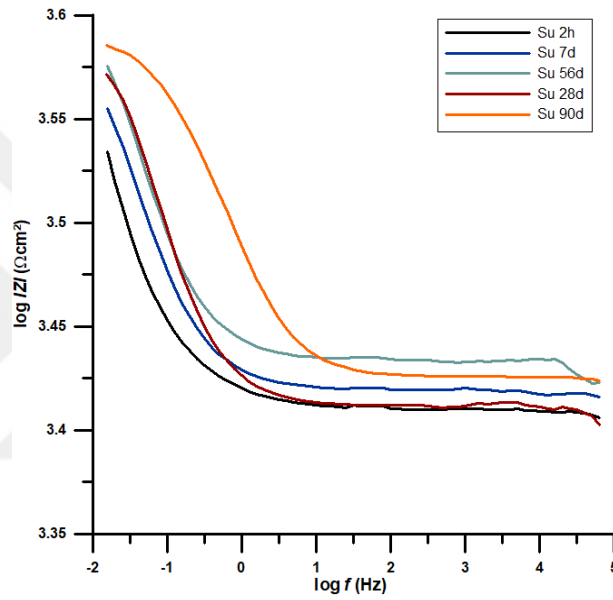
#### 3.1.1.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

Donatı çeliğinin karışım suyunda EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

Şekil 3.8’de tüm Nyquist diyagramlarının iki kapasitif yarı daireden oluştuğu görülmektedir. 10 kHz ila 10 Hz frekans aralığında gözlenen birinci kapasitif yarı dairenin yüksek düzeyde iletken  $\text{OH}^-$  iyonların varlığını; 10 Hz ila 10 mHz frekansı aralığındaki ikinci kapasitif yarı dairenin ise hafif alkali ( $\text{pH} = 7,92$ ) çözeltide çelik yüzeyde dirençli pasif bir filmin varlığını ifade etmektedir [112]. 2 saatlik maruz kalma süresi sonunda elde edilen sonuca göre düşük frekans aralığında bulunan ikinci kapasitif yarı dairenin diğerlerine göre daha az olduğu görülmektedir. 90 gün sonunda, düşük frekanstaki yarı dairenin, donatı üzerindeki pasif filmin artmasına paralel olarak diğerlerine kıyasla arttığı görülmüştür. Şekil 3.9’da elde edilen Bode diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları.

Şekil 3.9’da yer alan Bode diyagramlarında, yüksek frekanslı (dirençli) bölgelerden düşük frekanslı (kapasitif taraf) bölgelere net bir kayma olduğu görülmektedir. Gözlemlenen davranışın, donatı üzerine adsorbe edilmiş koruyucu filmin varlığının bir sonucu olabileceği düşünülmektedir [112]. EIS yöntemi sonucunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

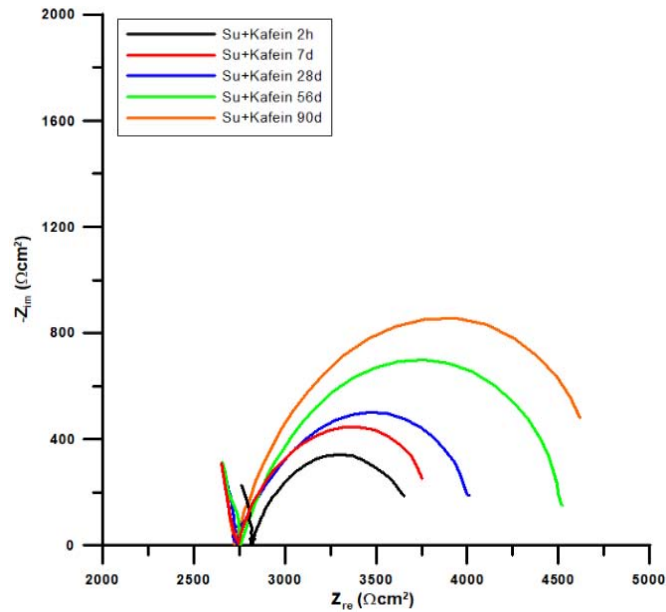
Çizelge 3.4. Karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P ( $F/cm^2$ )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	P ( $F/cm^2$ )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	( $\Omega.cm^2$ )	%
2 h	1536	2,99E-09	0,97	926	4,69E-04	0,68	369	1295	-
7 d	1289	2,72E-10	0,98	963	4,97E-04	0,69	799	1762	26,5
28 d	1193	2,95E-10	0,98	1169	3,89E-03	0,70	832	2001	35,3
56 d	1079	2,42E-10	0,99	1280	2,91E-03	0,74	1033	2313	44,0
90 d	1002	2,11E-10	0,99	1439	2,56E-03	0,75	1922	3361	61,5

Çizelge 3.4 incelendiğinde daldırma süresinin artmasıyla paralel olarak karışım suyunda donatı çeliğinin korozyon direncinin arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $1295 \Omega.cm^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $3361 \Omega.cm^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %62 olduğu görülmektedir.

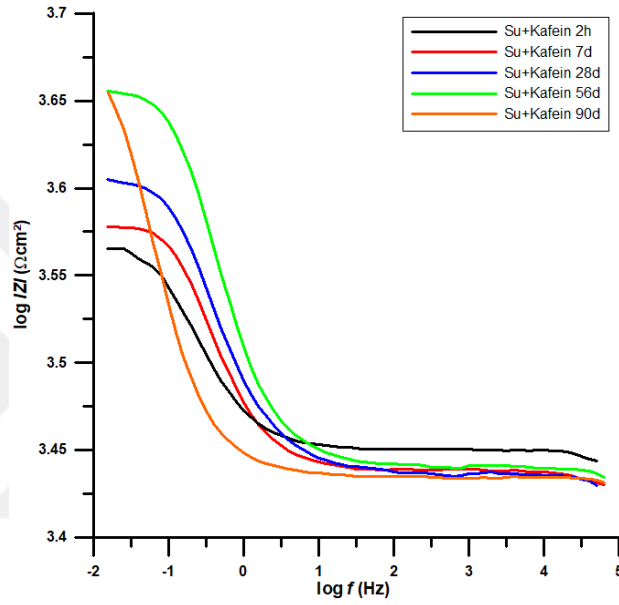
### 3.1.1.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

Donatı çeliğinin kafein ilaveli karışım suyu ortamında EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

Şekil 3.10’da yer alan Nyquist diyagramlarının karışım suyunda elde edilen empedans spektrumları ile benzer spektrumlara sahip olduğu dolayısıyla her iki ortamda da benzer elektrokimyasal sürecin meydana geldiği görülmektedir. Düşük frekans bölgesinde, 2 saat sonunda elde edilen yarı dairenin çap bakımından diğerlerine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Bekleme süresinin artması ile yarı dairelerin çaplarında kademeli bir artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kafein ilaveli karışım suyunda inhibitörsüz ortama kıyasla artan pH değerinin (pH = 7,95) yüzeyde pasif filmin oluşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Şekil 3.11’de elde edilen Bode diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları.

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, incelenen zaman çerçevesinde empedanstaki artış, inhibitörün karışım suyu ortamında donatı çeliğinin korozyonunda meydana getirdiği değişikliği ortaya koymaktadır. EIS yöntemi sonucunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.5’te gösterilmektedir.

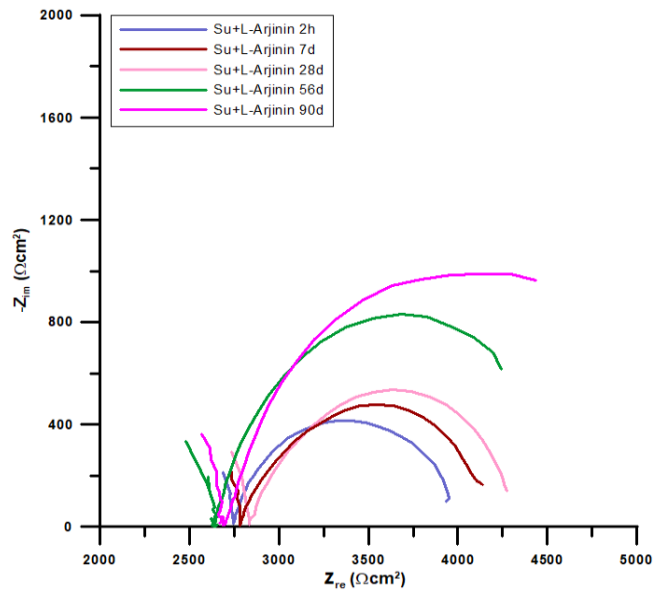
Çizelge 3.5. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	%
2h	1196	8,53E-10	0,94	951	5.10E-04	0,57	1119	2070	-
7d	1312	7,19E-10	0,96	934	4.81E-04	0,67	2080	3014	31,3
28d	1272	7,56E-10	0,97	943	2.52E-03	0,75	2450	3393	39,0
56d	1197	7,65E-10	0,97	952	2.61E-03	0,76	2693	3645	43,2
90d	1070	7,46E-10	0,99	1100	1.83E-03	0,76	3175	4275	51,6

Çizelge 3.5 incelendiğinde daldırma süresine paralel olarak kafein ilaveli karışım suyunda inhibitörün donatı çeliğinin yüzeyine adsorbe olarak korozyon direncini arttırdığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri 2070  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde 4275  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzde değişimin yaklaşık %52 olduğu görülmektedir.

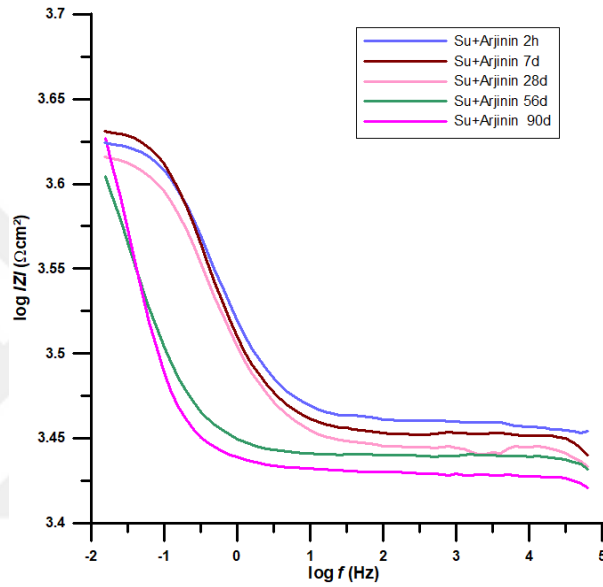
### 3.1.1.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun EIS Yöntemi ile İncelenmesi

Donatı çeliğinin L-arjinin ilaveli karışım suyu ortamında EIS yöntemi sonucunda elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Nyquist diyagramları.

Şekil 3.12’de yer alan Nyquist diyagramlarının karışım suyu ve kafein ilaveli karışım suyu ortamlarında elde edilen eğrilere kıyasla daha büyük çapa sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 2 saat sonunda düşük frekans bölgesinde gözlemlenen kapasitif yarı dairenin diğerlerinden daha küçük çapa sahip olduğu ve en büyük çapın 90 gün sonunda elde edildiği görülmektedir. Bu durum, L-arjinin ilavesi ile ortamın yüksek alkali (pH = 9,19) olmasına bağlı olarak donatı çeliği yüzeyinde oluşan pasif oksit filmin zaman içinde koruyucu etkinliğini arttırdığını göstermektedir. Şekil 3.13’te elde edilen Bode diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.13. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Bode diyagramları.

Şekil 3.13’te yer alan Bode diyagramları tüm maruz kalma süreleri için düşük frekanslı bölgelerdeki kapasitif davranışı göstermektedir. EIS yöntemi sonucunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	$\frac{P}{(F/cm^2)}$	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot cm^2$ )	$\frac{P}{(F/cm^2)}$	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot cm^2$ )	( $\Omega \cdot cm^2$ )	%
2h	1238	4,93E-10	0,87	979	4,88E-04	0,54	1147	2126	-
7d	1218	4,92E-10	0,94	1035	4,27E-03	0,59	2185	3220	34,0
28d	1179	3,51E-10	0,96	1230	2,99E-03	0,72	2214	3444	38,3
56d	1050	2,92E-10	0,98	1500	2,61E-03	0,78	2296	3796	44,0
90d	964	2,45E-10	0,99	1950	2,28E-03	0,82	2516	4466	52,4

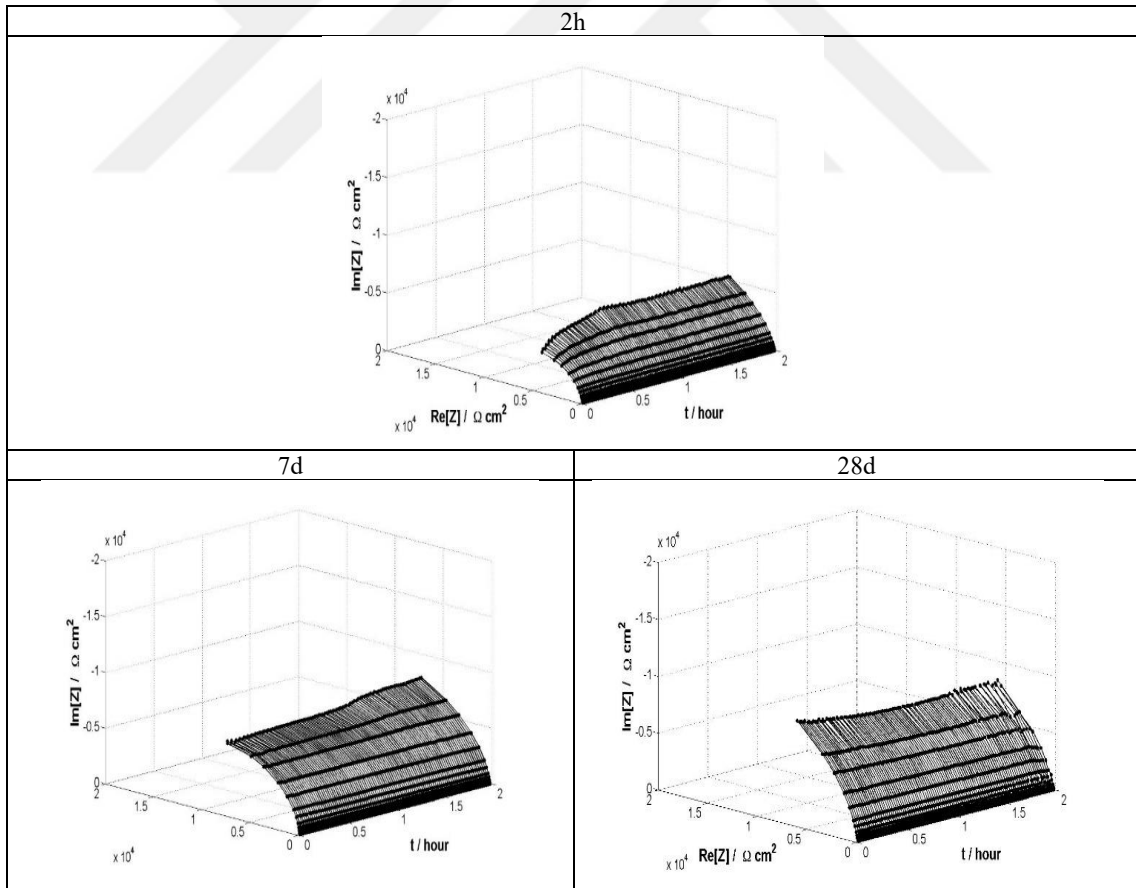
Çizelge 3.6 incelendiğinde bekleme süresine paralel olarak donatı çeliğinin L-arjinin ilaveli karışım suyunda korozyon direncinin arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $2126 \Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $4466 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90d sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %52 olduğu görülmektedir.

### 3.1.2. DEIS Yöntemi

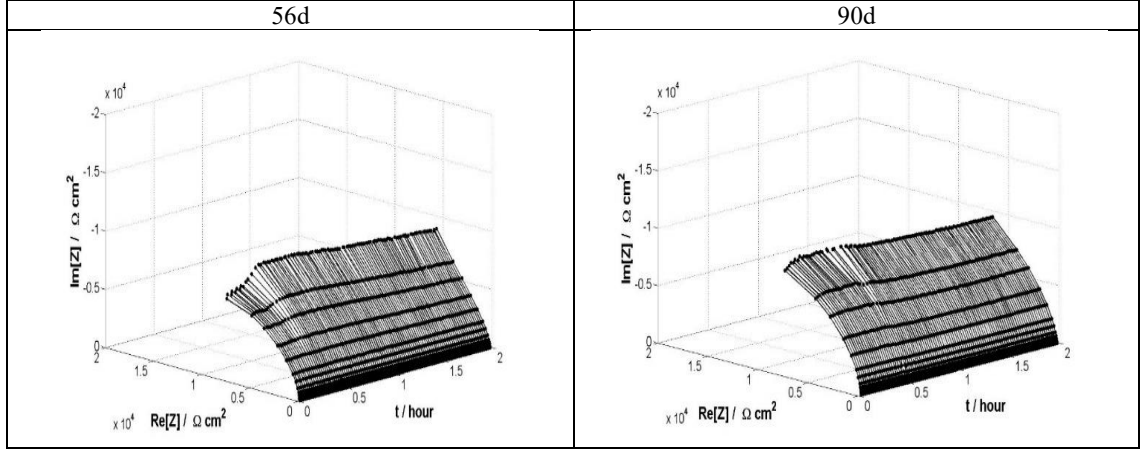
DEIS deneyleri, durağan olmayan süreçleri araştırmak için kullanılmıştır. DEIS deneylerinden önce OCP kaydedilmemiştir ve deneyler başlatılmıştır. 2h, 7d, 28d, 56d, 90d süreyle inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyu ve boşluk suyu ortamlarına maruz bırakılan donatı çeliklerinin korozyon davranışı oda sıcaklığında 2 saat süreyle ölçülmüştür.

#### 3.1.2.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Boşluk suyu çözeltisinde DEIS sonucu elde edilen 3D grafikler.



Şekil 3.14. (devam). Boşluk suyu çözeltisinde DEIS sonucu elde edilen 3D grafikler.

Şekil 3.14'te boşluk suyu çözeltisinde 2 saat yapılan deneyler sonucunda donatı çeliği için elde edilen empedans spektrumlarının tam yarım daire olmadığı ve bu durumun çift katmanlı kapasitörün ideal olmayan davranışından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 90 gün bekleme sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.cm^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.cm^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. Empedans spektrumları  $R(QR)(QR)$  devre modeli ile ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen değerler Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

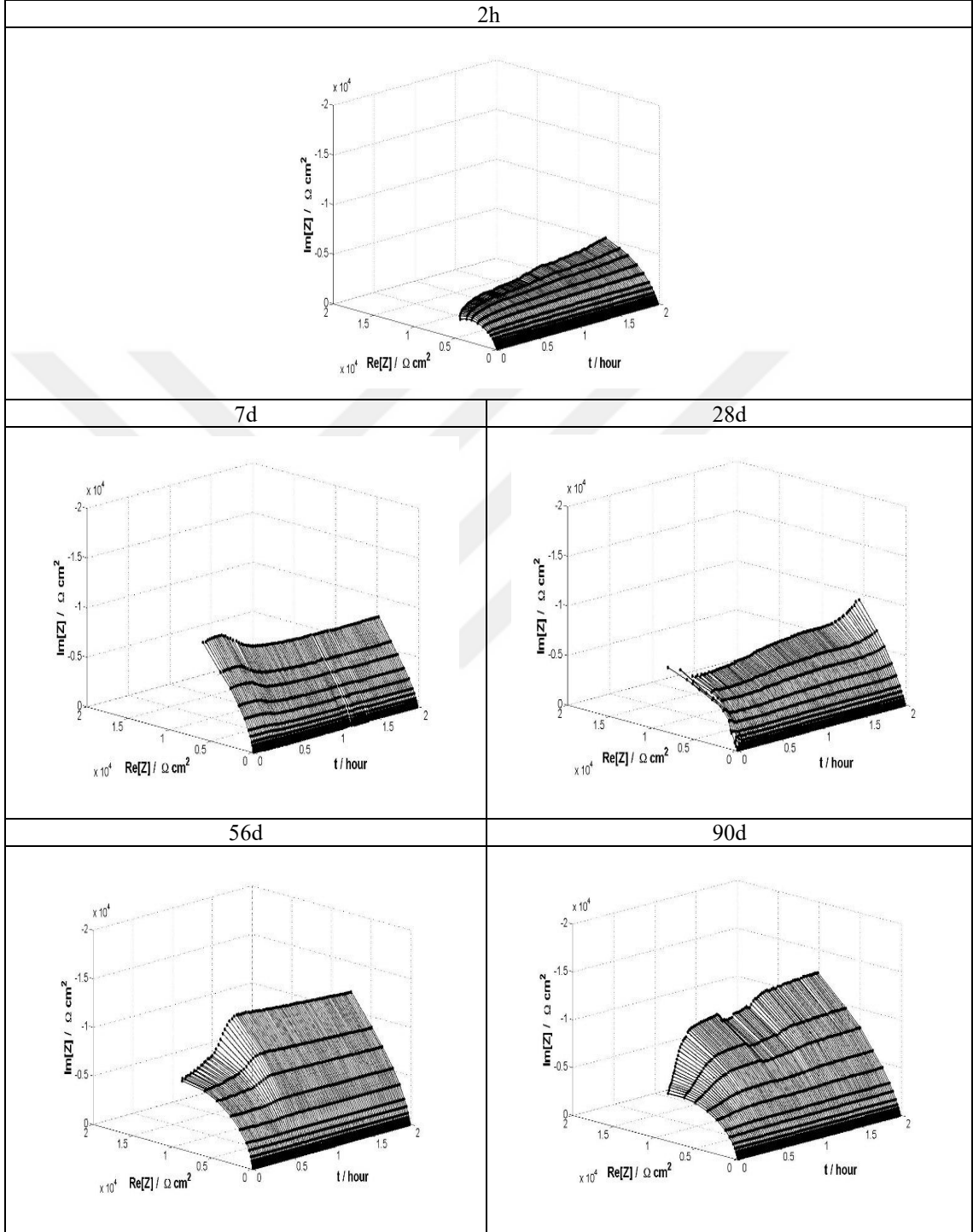
Çizelge 3.7. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$ ( $\Omega$ )	$CPE_f$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_f$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_f$ ( $\Omega.cm^2$ )	$CPE_{dl}$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_{dl}$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_{ct}$ ( $\Omega.cm^2$ )	$R=R_f+R_{ct}$ ( $\Omega.cm^2$ )	Yüzdece Değişim %
2h	18,21	5,30E-05	0,87	1430	3,35E-05	0,88	11293	12723	-
7d	17,37	7,77E-07	0,89	1631	3,60E-05	0,89	15300	16931	24,85
28d	17,12	7,33E-07	0,92	2830	3,60E-05	0,89	19138	21968	42,08
56d	16,88	5,37E-07	0,96	4584	3,28E-05	0,92	18398	22982	44,64
90d	16,54	4,14E-07	0,98	5726	7,34E-07	0,99	19546	25272	49,66

Çizelge 3.7 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $12723 \Omega.cm^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $25272 \Omega.cm^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %50 olduğu görülmektedir.

### 3.1.2.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait 3D grafikler.

Şekil 3.15'te kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde 2 saat yapılan deneyler sonucunda donatı çeliği için elde edilen empedans spektrumu gösterilmiştir. 90 gün bekleme

sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.cm^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.cm^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen değerler Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

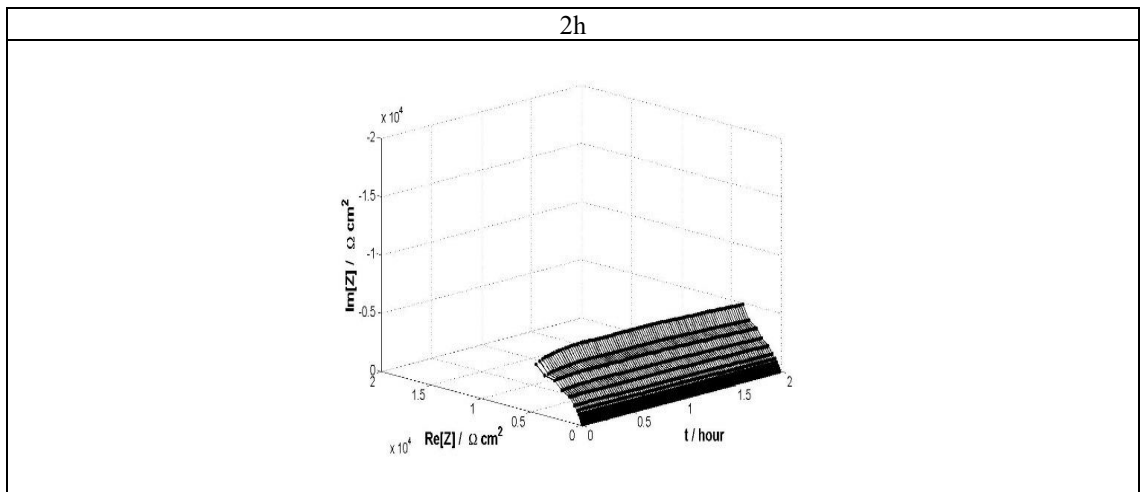
Çizelge 3.8. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$ ( $\Omega$ )	$CPE_f$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_f$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_f$ ( $\Omega.cm^2$ )	$CPE_{dl}$ P (F/cm <sup>2</sup> )	$n_{dl}$ ( $0 \leq n \leq 1$ )	$R_{ct}$ ( $\Omega.cm^2$ )	$R=R_f+R_{ct}$ ( $\Omega.cm^2$ )	Yüzdece Değişim %
2h	20,27	1,27E-04	0,77	1668	1,18E-04	0,81	14168	15836	-
7d	19,95	9,27E-05	0,83	2546	5,09E-05	0,83	18690	21236	25,4
28d	19,23	4,47E-05	0,92	3150	4,62E-05	0,85	24476	27626	30
56d	18,68	3,09E-07	0,95	4830	3,68E-05	0,93	27540	32370	51,1
90d	18,09	1,01E-07	0,98	6548	2,93E-05	0,99	32360	38908	59,3

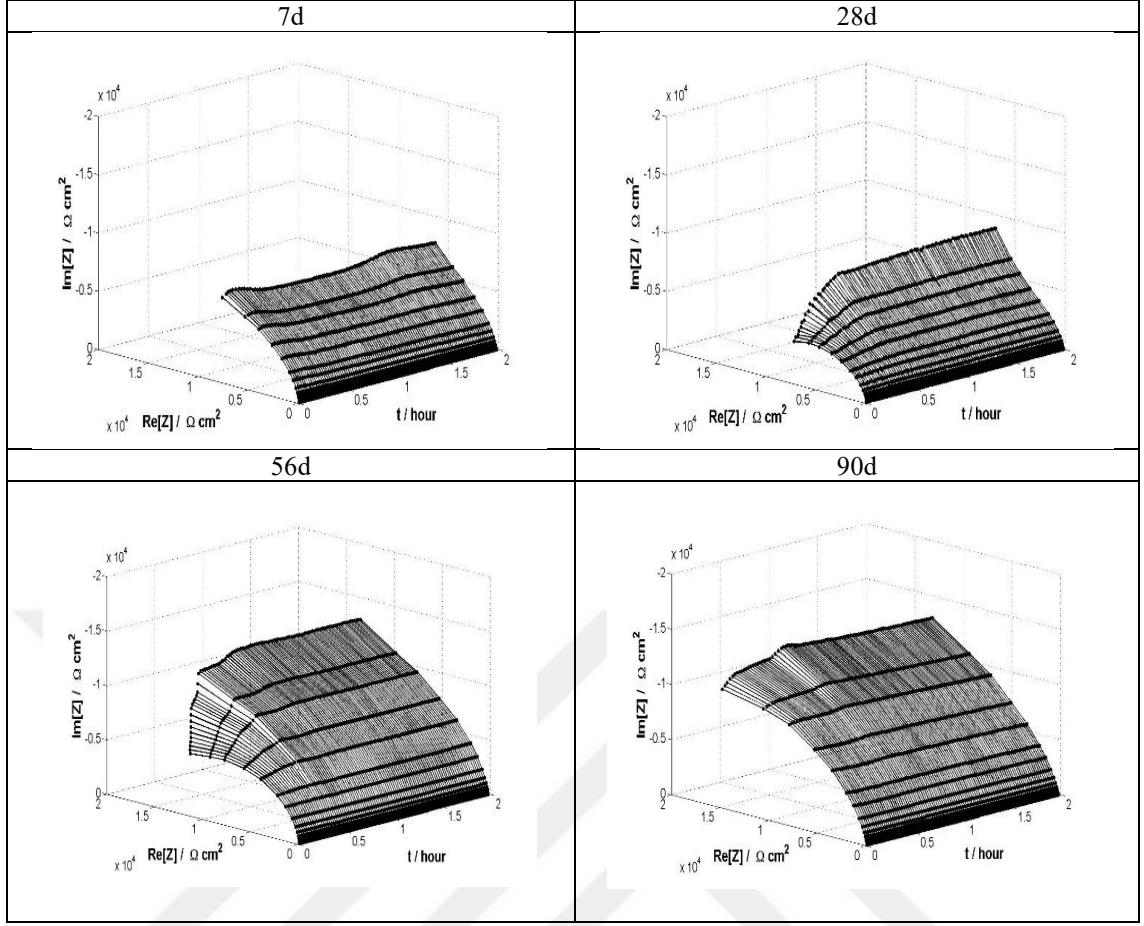
Çizelge 3.8 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $15836 \Omega.cm^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $38908 \Omega.cm^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %59 olduğu görülmektedir.

### 3.1.2.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait 3D grafikler.



Şekil 3.16. (devam). L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait 3D grafikler.

Şekil 3.16’da L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde 2 saat yapılan deneyler sonucunda nervürlü inşaat çeliği için elde edilen empedans spektrumu gösterilmiştir. 90 gün bekleme sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.cm^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.cm^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen değerler Çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

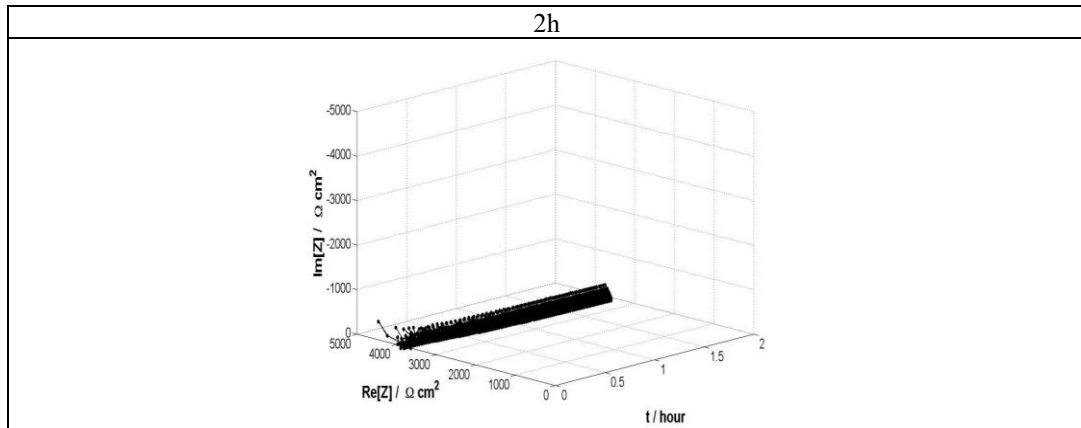
Çizelge 3.9. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	%
2h	20,27	8,97E-05	0,83	1730	1,20E-04	0,85	15050	16780	-
7d	20	6,89E-05	0,85	2758	1,18E-04	0,87	23430	26188	32,1
28d	19,19	3,58E-05	0,87	5840	4,11E-05	0,90	23458	29298	39,3
56d	19,17	2,93E-05	0,90	6654	3,45E-05	0,91	33300	39954	55,5
90d	18,65	5,85E-07	0,98	7610	5,02E-07	0,98	34921	42531	60,5

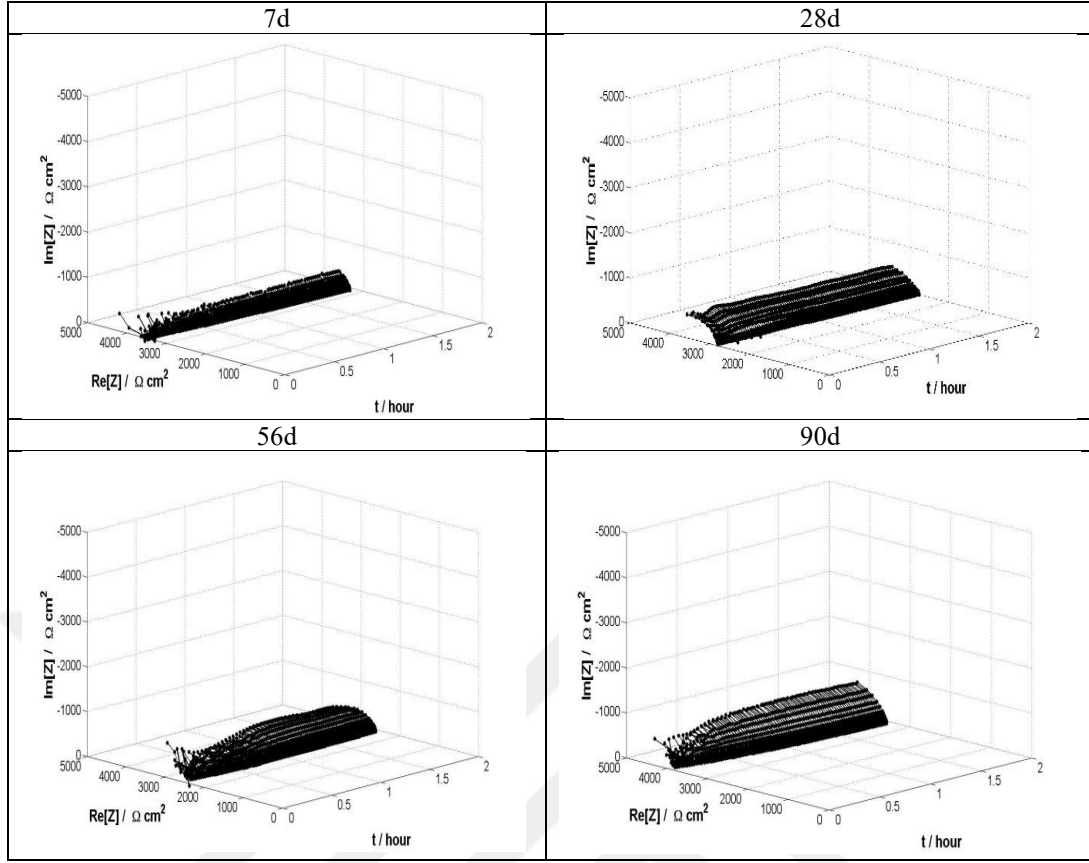
Çizelge 3.9 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla artışı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $16780 \Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $42531 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %61 olduğu görülmektedir.

#### 3.1.2.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler.



Şekil 3.17. (devam). Karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler.

Şekil 3.17’de karışım suyunda 2 saat yapılan deneyler sonucunda nervürlü inşaat çeliği için elde edilen empedans spektrumu gösterilmiştir. 90 gün bekleme sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.cm^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.cm^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen değerler Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

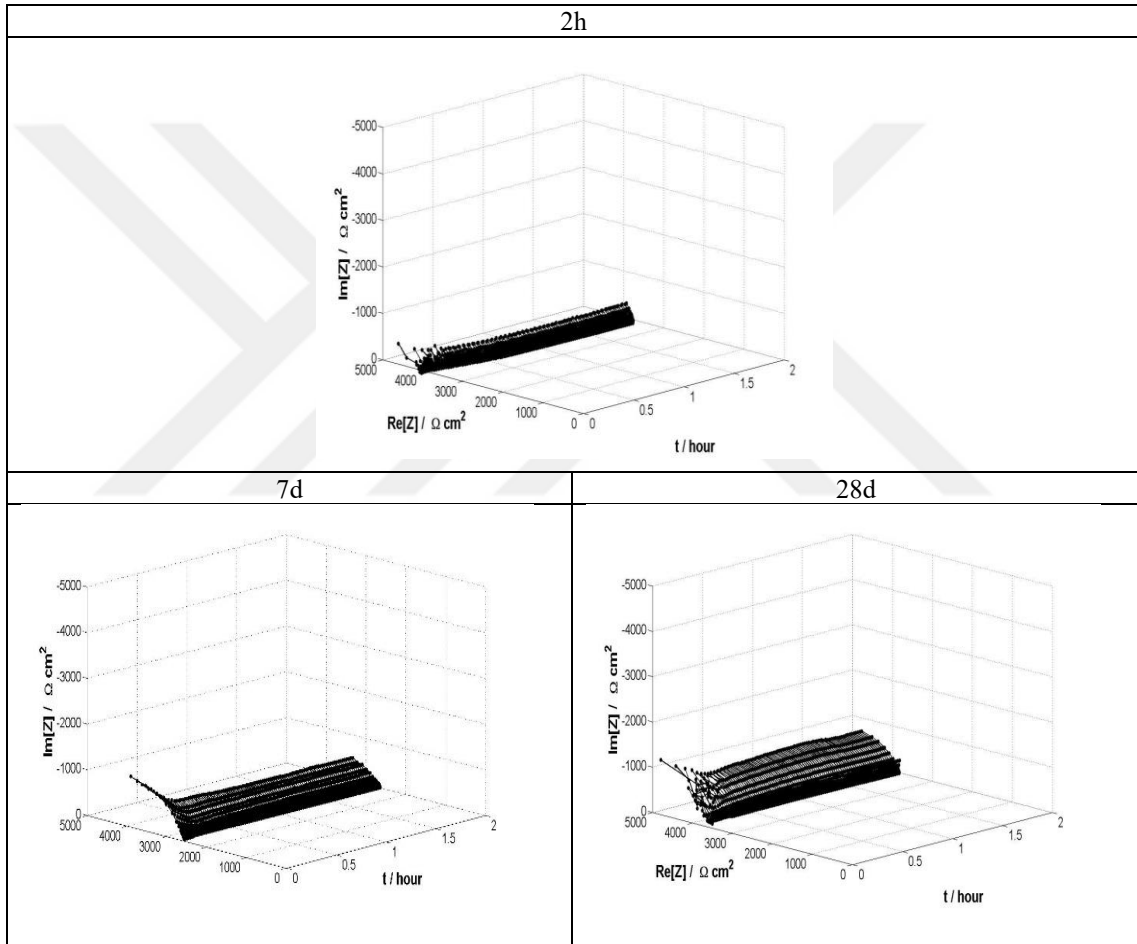
Çizelge 3.10. Karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	$\frac{P}{(F/cm^2)}$	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	$\frac{P}{(F/cm^2)}$	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	( $\Omega.cm^2$ )	%
2h	3437	1,82E-04	0.87	162	1,13E-03	0,87	1046	1208	-
7d	3320	4,03E-04	0.79	180	1,30E-03	0,77	1226	1406	14,1
28d	3768	1,33E-04	0.86	103	3,92E-04	0,84	1888	1991	39,3
56d	3485	5,18E-04	0.86	275	3,90E-04	0,84	2112	2387	49,4
90d	773,7	3,21E-04	0.94	1378	1,73E-05	0,99	1866	3244	62,8

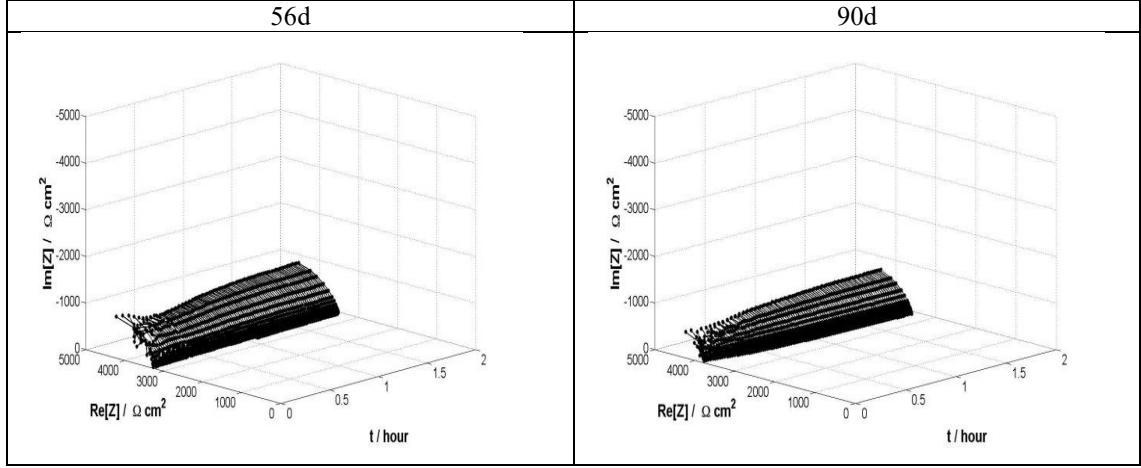
Çizelge 3.10 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $1208 \Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $3244 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzde değişimin yaklaşık %63 olduğu görülmektedir.

### 3.1.2.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler.



Şekil 3.18. (devam). Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler.

Şekil 3.18’de kafein ilaveli karışım suyunda 2 saat yapılan deneyler sonucunda donatı çeliği için elde edilen empedans spektrumu gösterilmiştir. 90 gün bekleme sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.cm^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.cm^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen değerler Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

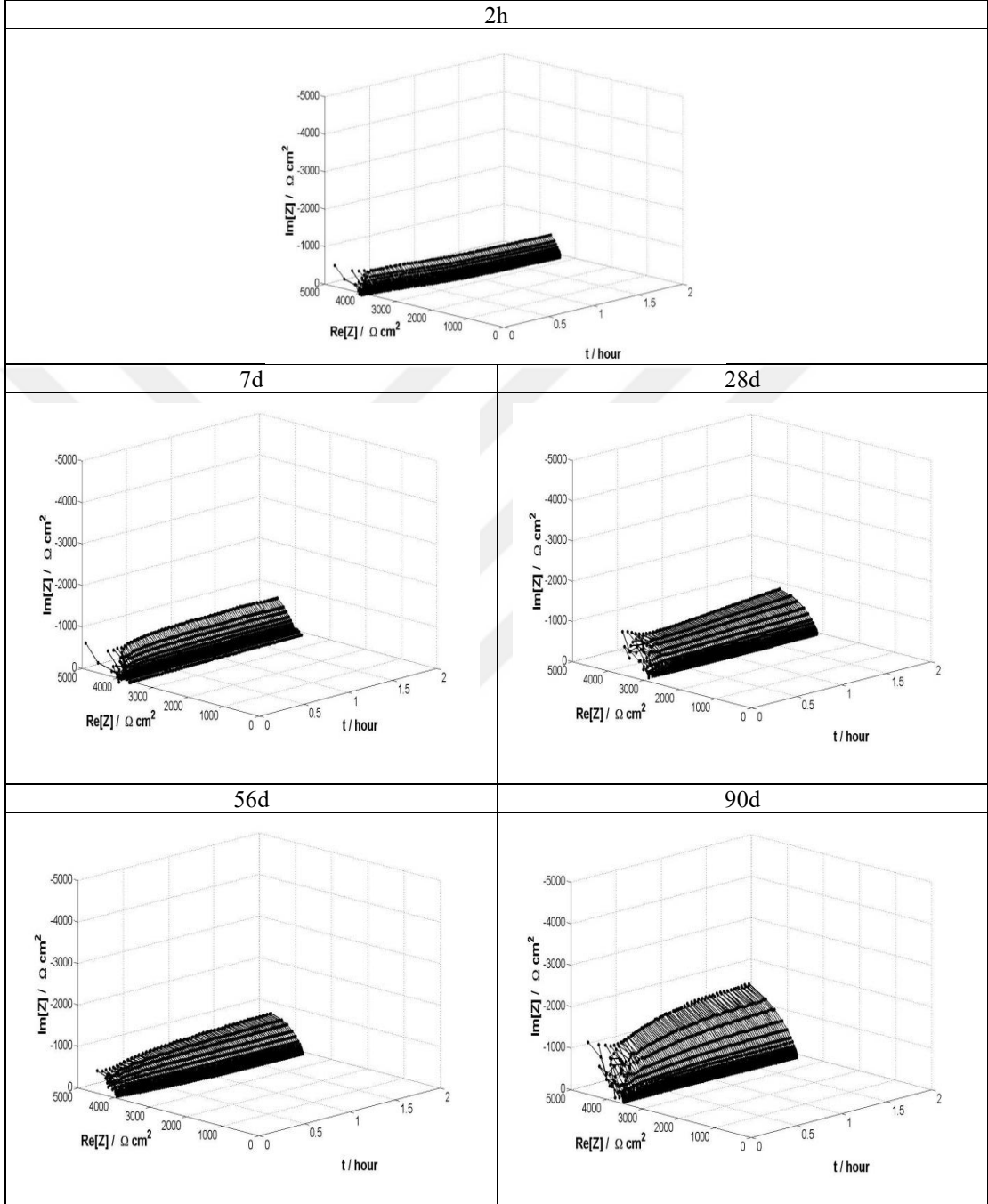
Çizelge 3.11. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega.cm^2$ )	( $\Omega.cm^2$ )	%
2h	4480	4,23E-04	0,93	821	2,54E-04	0,88	1969	2790	-
7d	1003	4,90E-04	0,96	1674	1,06E-05	0,92	1700	3374	17,3
28d	4124	3,31E-04	0,97	1539	1,39E-04	0,97	2018	3557	21,6
56d	2613	4,23E-04	0,98	1213	5,13E-04	0,99	2760	3973	29,8
90d	3371	4,52E-04	0,99	1859	7,39E-05	0,99	2368	4227	34,0

Çizelge 3.11 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $2790 \Omega.cm^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $4227 \Omega.cm^2$ ’ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %34 olduğu görülmektedir.

### 3.1.2.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun DEIS Yöntemi ile İncelenmesi

Deney sonrası 3D olarak elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait 3D grafikler.

Şekil 3.19’da L-arjinin ilaveli karışım suyunda 2 saat yapılan deneyler sonucunda nervürlü inşaat çeliği için elde edilen empedans spektrumu gösterilmiştir. 90 gün bekleme sonucunda yapılan deney sonucunda empedans spektrumunun  $Re[Z]/\Omega.\text{cm}^2$  ve  $Im[Z]/\Omega.\text{cm}^2$  kısımlarının arttığı görülmektedir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen

değerler Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait DEIS sonuçları.

Süre	$R_s$	$CPE_f$	$n_f$	$R_f$	$CPE_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{ct}$	$R=R_f+R_{ct}$	Yüzdece Değişim
	( $\Omega$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	P (F/cm <sup>2</sup> )	( $0 \leq n \leq 1$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	%
<b>2h</b>	3267	2,49E-04	0.97	969,2	7,62E-04	0,66	2368	3337	-
<b>7d</b>	2349	3,00E-04	0.99	1476	3,81E-04	0,82	2686	4162	19,8
<b>28d</b>	3709	2,45E-04	0.99	1218	1,87E-04	0,93	3044	4263	21,7
<b>56d</b>	3721	4,70E-04	0.98	2990	4,14E-04	0,80	1619	4609	27,6
<b>90d</b>	2788	1,31E-04	0.98	1569	1,33E-03	0,96	3433	5002	33,3

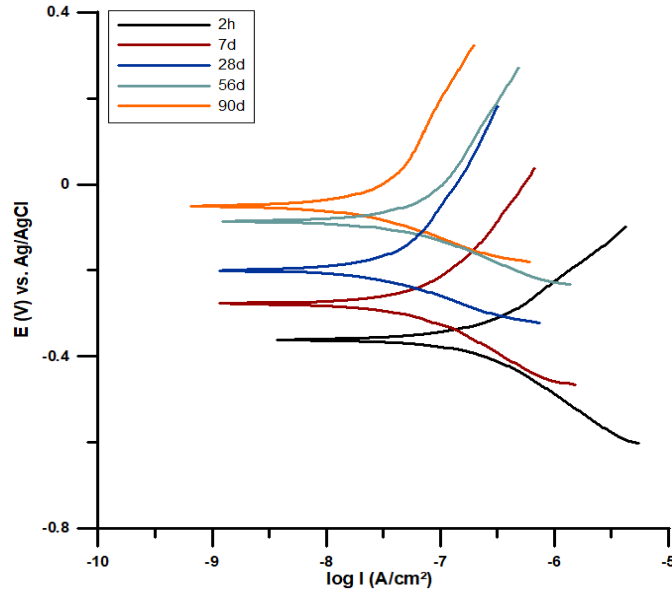
Çizelge 3.12 incelendiğinde daldırma süresinin arttırılmasına paralel olarak  $R$  değerlerinin zamanla arttığı görülmektedir. 2 saat sonrasında ölçülen  $R$  değeri  $3337 \Omega \cdot \text{cm}^2$  iken 90 gün bekleme süresinde  $5002 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye yükselmiştir. Ayrıca 2h sonunda elde edilen  $R$  değeri ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında meydana gelen yüzdece değişimin yaklaşık %33 olduğu görülmektedir.

### 3.1.3. TP Yöntemi

2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyu ve boşluk suyu ortamlarına maruz bırakılan donatı çeliklerinin korozyon davranışı EIS yöntemi sonrası oda sıcaklığında 100 sn sonra tarama yapılarak elde edilmiştir.

#### 3.1.3.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

Şekil 3.20’de görüldüğü üzere zamanla katodik eğride değişiklik yokken anodik eğride değişim meydana gelmiştir. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.13’te görülmektedir.

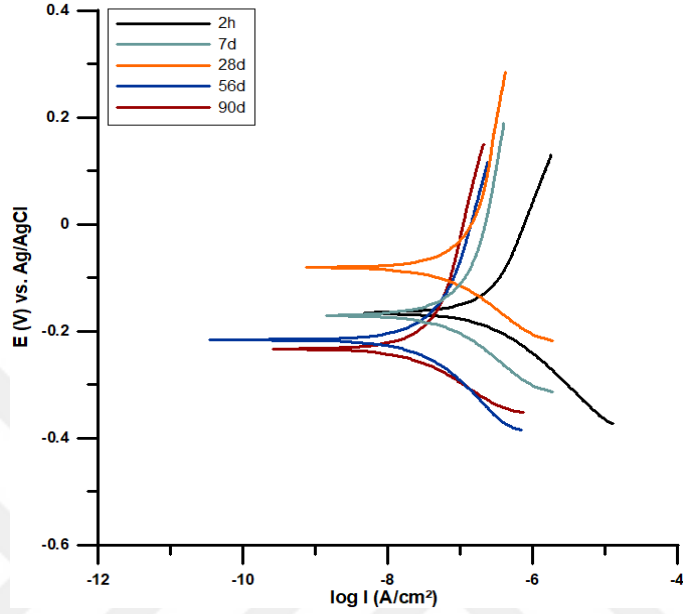
Çizelge 3.13. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları.

Süre	$E_{kor}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{kor}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$\beta_a$ (mV/dec)	$\beta_c$ (mV/dec)	Log [X]=1 Yakalandığı değer (mV)	Yüzdece Değişim (%)
2 h	-361	283	227	213	-	-
7 d	-278	212	388	-	2165	25
28 d	-200	185	435	-	2950	35
56 d	-86	124	460	-	3000	56
90 d	-50	95	486	-	3600	66

90 gün sonunda, Anodik Tafel sabiti ( $\beta_a$ ) 226 mV/dec değerinden 486 mV/dec değerine artmıştır. 2h sonunda elde edilen  $I_{kor}$  değeri referans alındığında hesaplanan yüzdece değişim değeri 90 günün sonunda %66 olarak hesaplanmıştır. Log [x] değerinin 1 olduğu potansiyel de aynı şekilde zamanla artmıştır. Bu değişimler metal yüzeyinde zamanla pasifleşmenin olduğunu kanıtlamaktadır. Zamanla metal yüzeyinde oluşan oksit film, metal yüzeyinde anodik reaksiyon olan demirin yükseltgenme reaksiyonunun hızını azaltmıştır.

### 3.1.3.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisi içinde donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

Şekil 3.21'de elde edilen eğriler incelendiğinde bekleme süresinin artmasına bağlı olarak  $E_{kor}$  değerinde değişiklik gözlenmiştir. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.14'te görülmektedir.

Çizelge 3.14. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları.

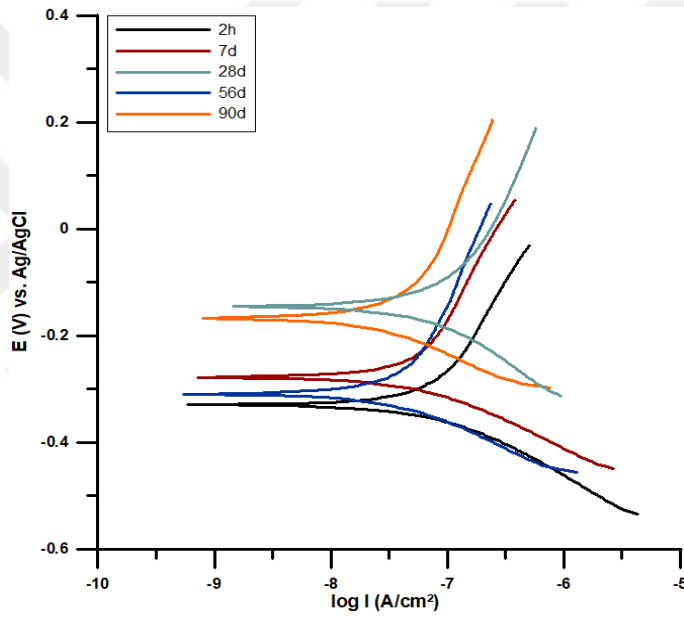
Süre	$E_{kor}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{kor}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$\beta_a$ (mV/dec)	Log [X]=1 Yakalandığı değer (mV)	Yüzdece Değişim (%)
2 h	-165	162	312	2491	-
7 d	-170	135	378	2875	17
28 d	-81	121	416	3254	25
56 d	-216	94	452	3375	42
90 d	-233	84	486	3654	48

Çizelge 3.14'te görüldüğü üzere zamanla metallerin korozyon potansiyellerinde değişikliklerin olduğu görülmektedir. Bu dalgalanma metalin elektrokimyasal

değişikliğinin dinamik olarak devam ettiğini göstermektedir. İki saat sonunda ölçülen  $I_{kor}$  değeri  $162 \text{ nA/cm}^2$  den azalarak 90 gün sonunda  $67 \text{ nA/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. Yüksek alkali boşluk suyu ortamı, katodik reaksiyonu neredeyse durağan hale getirmiş ve metal yüzeyinde pasif film oluşumuna neden olduğu  $\text{Log [x]}$  değerinin 1 olduğu potansiyel değerlerinin inhibitör kullanılmayan boşluk suyu ortamına kıyasla (Çizelge 3.13) daha çok artmasına neden olmuştur.

### 3.1.3.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisi içinde donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.15'te görülmektedir.

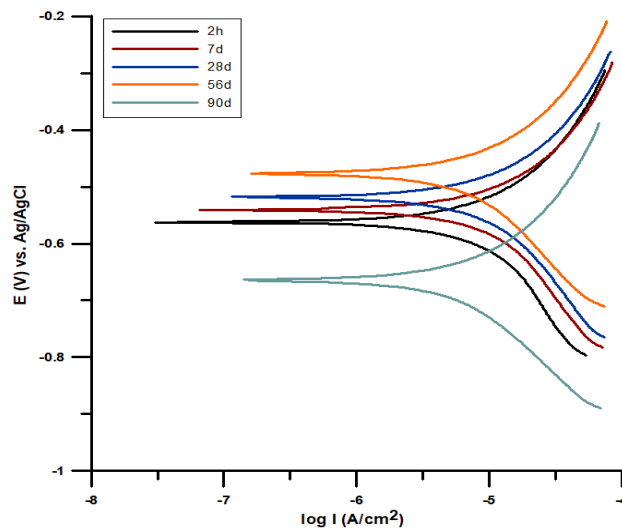
Çizelge 3.15. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait TP sonuçları.

Süre	$E_{kor}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{kor}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$\beta_a$ (mV/dec)	Log [X]=1 Yakalandığı değer (mV)	Yüzdece Değişim (%)
2 h	-329	143	472	2329	-
7 d	-277	110	512	2734	23
28 d	-145	98	575	3177	31
56 d	-309	76	617	3421	47
90 d	-167	60	658	3778	58

L-arjinin ilaveli boşluk suyunda TP yöntemi ile elde edilen elektrokimyasal veriler metal yüzeyinde oluşan okist filmin zamanla arttığını kanıtlamaktadır.  $\beta_a$  değeri artmışken  $I_{kor}$  değeri %58 azalmıştır. Ancak 56-90 gün sonra elde edilen değişimin aradan 34 gün geçmesine rağmen daha az olduğu görülmektedir. Bu durum oluşan oksit tabakanın zamanla orantılı büyümediğini göstermektedir. TP yöntemi sonuçları diğer elektrokimyasal yöntemlerle (EIS-DEIS) elde edilen verileri desteklemektedir. TP yöntemi, boşluk suyu ortamında oksit filmin varlığını ispatlamaktadır. L-arjinin diğer kullanıldığımız ekolojik inhibitör kafeinden daha etkili bir koruma sağladığı görülmüştür.

#### 3.1.3.4. Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

Karışım suyunda donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

Şekil 3.23'te elde edilen eğriler incelendiğinde bekleme süresinin artmasına bağlı olarak korozyon akım yoğunluğunun ( $I_{kor}$ ) giderek azaldığı görülmektedir. Anodik akım-potansiyel eğrilerinin paralel olduğu; katodik akımda değişim meydana geldiği görülmektedir. Karışım suyunda donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.16'da görülmektedir.

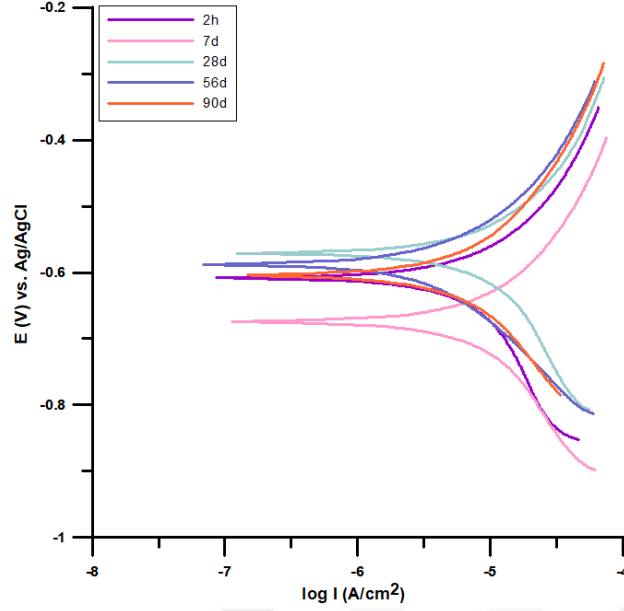
Çizelge 3.16. Karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları.

Süre	$E_{kor}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$\beta_a$ (mV/dec)	$\beta_c$ (mV/dec)	Yüzdece Değişim %
2h	-562	38	388	631	-
7d	-542	31	492	798	18
28d	-518	28	450	908	26
56d	-477	24	436	737	37
90d	-665	16	385	540	58

Çizelge 3.16 incelendiğinde  $E_{kor}$  değerlerinin -477 mV ila -665 mV aralığında değiştiği görülmektedir.  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerlerinin sabit bir şekilde artış ya da azalış göstermemesi hem anodik hem de katodik reaksiyonların mekanizmasının değişmediğini ifade etmektedir. Bekleme süresinin arttırılmasıyla paralel olarak  $I_{kor}$  değerlerinin  $38 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'den  $16 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye azaldığı görülmektedir. TP yöntemi sonucu donatı çeliğinin karışım suyunda yüzdece değişiminin %58 olduğu hesaplanmıştır.

### 3.1.3.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

Şekil 3.24'te elde edilen eğriler incelendiğinde bekleme süresinin artmasına bağlı olarak  $I_{kor}$  azaldığı görülmektedir. Anodik akım-potansiyel eğrilerinin paralel olduğu; katodik akımda gözlemlenen eğimin 56 ve 90 gün sonunda azaldığı görülmektedir. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.17'de görülmektedir.

Çizelge 3.17. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları.

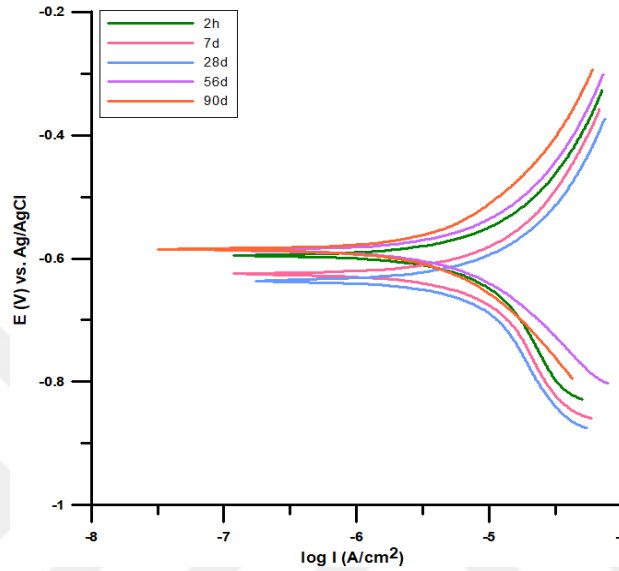
Süre	$E_{kor}$	$I_{kor}$	$\beta_a$	$\beta_c$	Yüzdece Değişim
	(mV/Ag/AgCl)	( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	(mV/dec)	(mV/dec)	%
2h	-608	32	619	986	-
7d	-675	29	915	1064	16
28d	-571	23	1032	1125	28
56d	-588	19	1048	1187	41
90d	-604	12	1059	1216	59

Çizelge 3.17 incelendiğinde  $E_{kor}$  değerlerinin -571 mV ila -657 mV aralığında değiştiği görülmektedir.  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerlerinin karışım suyu ortamından farklı olarak sabit bir şekilde arttığı görülmektedir. Bekleme süresinin artırılmasıyla  $I_{kor}$  değerlerinin  $32 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'den  $12 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye azaldığı görülmektedir. TP yöntemi sonucu donatı çeliğinin

kafein ilaveli karışım suyunda yüzdece değişiminin %59 olduğu hesaplanmıştır.

### 3.1.3.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Donatı Korozyonunun TP Yöntemi ile İncelenmesi

L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğinin oda sıcaklığında elde edilen Tafel eğrileri Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait Tafel eğrileri.

Şekil 3.25'te elde edilen eğriler incelendiğinde bekleme süresinin artmasına bağlı olarak  $I_{kor}$  azaldığı görülmektedir. Anodik akım-potansiyel eğrilerinin paralel olduğu; katodik akımda gözlemlenen eğimin 56 ve 90 gün sonunda azaldığı görülmektedir. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliği için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.18'de görülmektedir.

Çizelge 3.18. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait TP sonuçları.

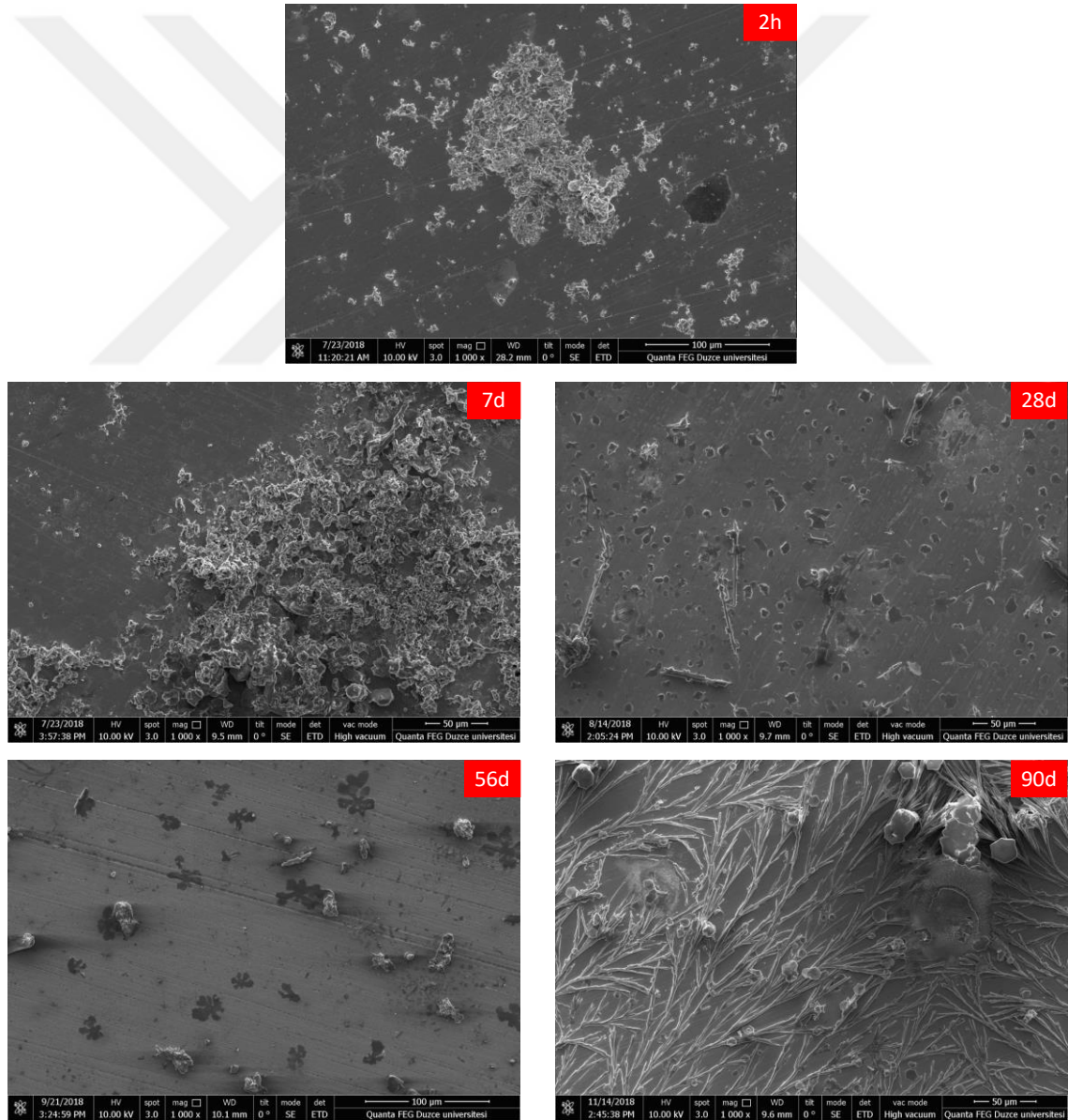
Süre	$E_{kor}$	$I_{kor}$	$\beta_a$	$\beta_c$	Yüzdece Değişim
	(mV/Ag/AgCl)	( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	(mV/dec)	(mV/dec)	%
2h	-595	30	678	1031	-
7d	-625	25	628	987	17
28d	-636	22	590	762	27
56d	-587	16	452	528	47
90d	-585	9	404	486	70

Çizelge 3.18 incelendiğinde  $E_{kor}$  değerlerinin -585 mV ila -636 mV aralığında değiştiği görülmektedir.  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bekleme süresinin arttırılmasıyla  $I_{kor}$  değerlerinin  $30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'den  $9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye azaldığı görülmektedir. TP yöntemi sonucu donatı çeliğinin L-arjinin ilaveli karışım suyunda yüzde değişiminin %70 olduğu hesaplanmıştır.

### 3.1.4. SEM-EDS Analizleri

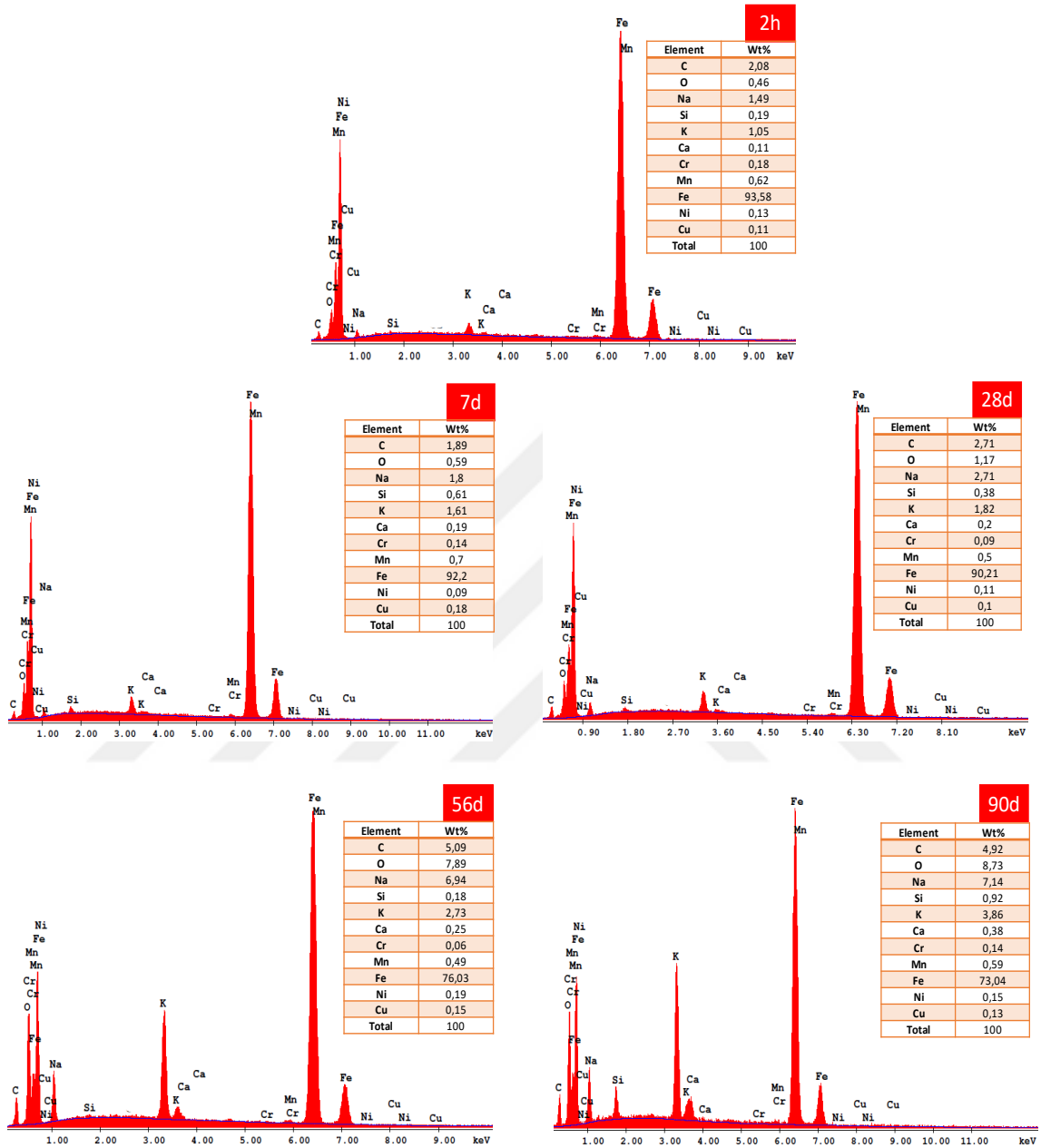
#### 3.1.4.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

Boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.26’da donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde boşluk suyu çözeltisinde yer alan iyonların metal yüzeyine yapıştığı görülmektedir.

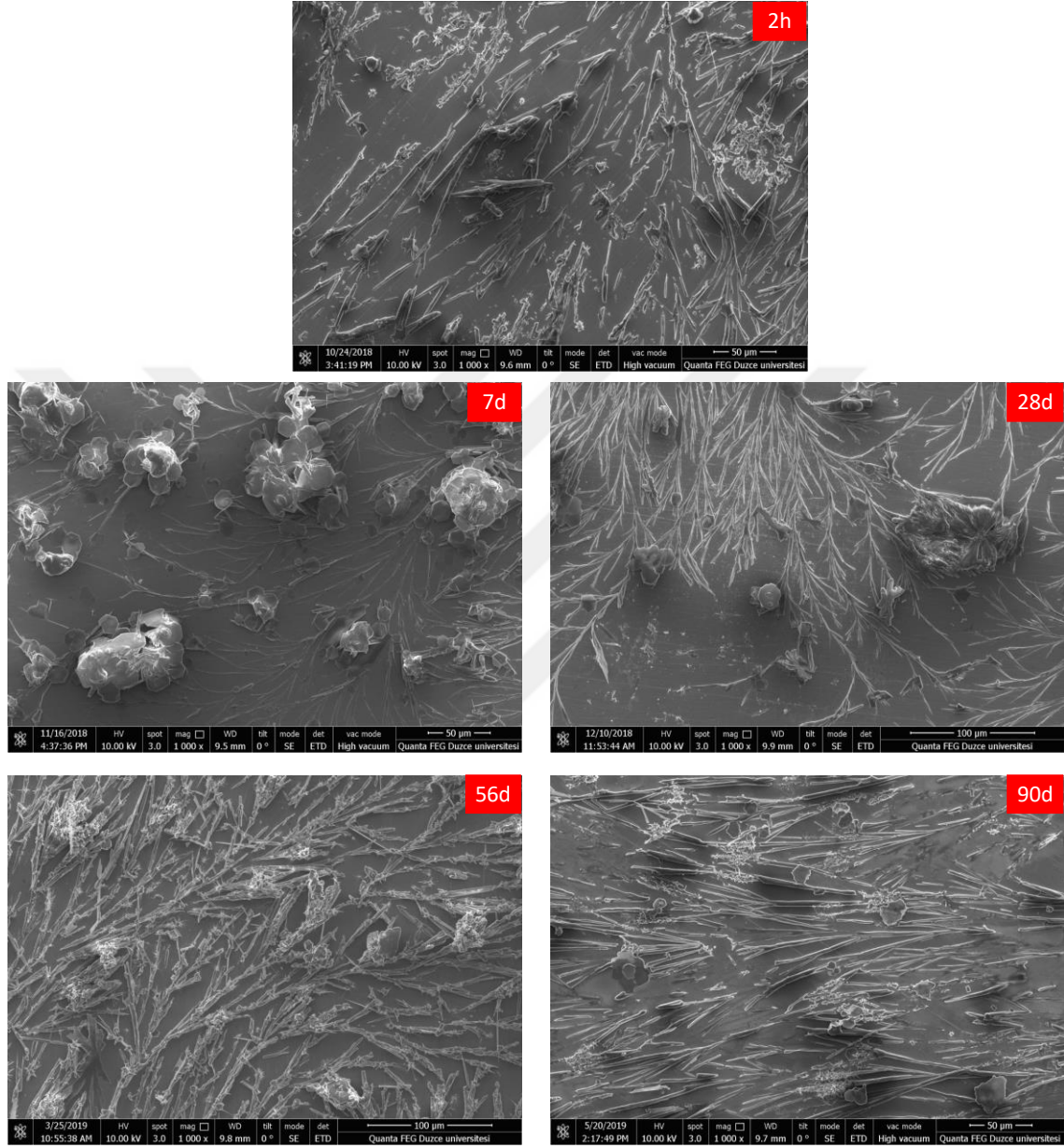


Şekil 3.27. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.27’de yer alan EDS spektrumlarında oksijen (O) ve demir (Fe) elementlerine odaklanılmıştır. Fe ve oksijenin varlığı demir oksit/hidroksit oluşumu ile ilişkilendirilmiştir. 2 saat sonunda elde edilen O oranının %0,46; 90 gün sonunda elde edilen değerin ise %8,73 olduğu; aynı zamanlar için Fe oranının ise %93,58’den %73,04’e düştüğü görülmektedir. Ayrıca boşluk suyu çözeltisinde bulunan Na, Ca ve K elementlerinin oranının metal yüzeylerinde bekleme süresiyle arttığı görülmektedir.

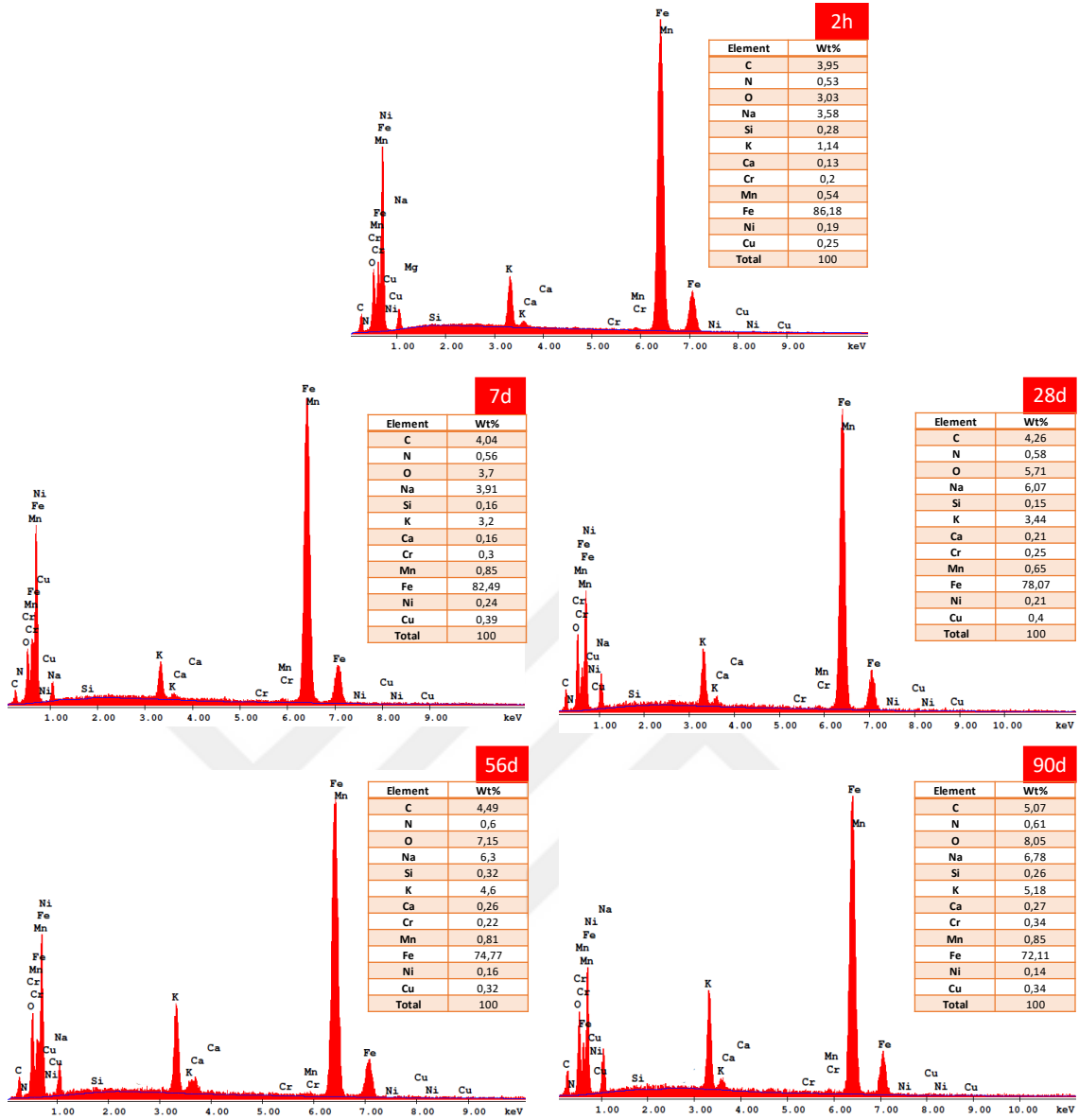
### 3.1.4.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.28’de donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde gözlemlenen boşluk suyuna ait elementlerin kafein ilavesi ile daha belirgin şekilde yüzeyi kapladığı görülmektedir.

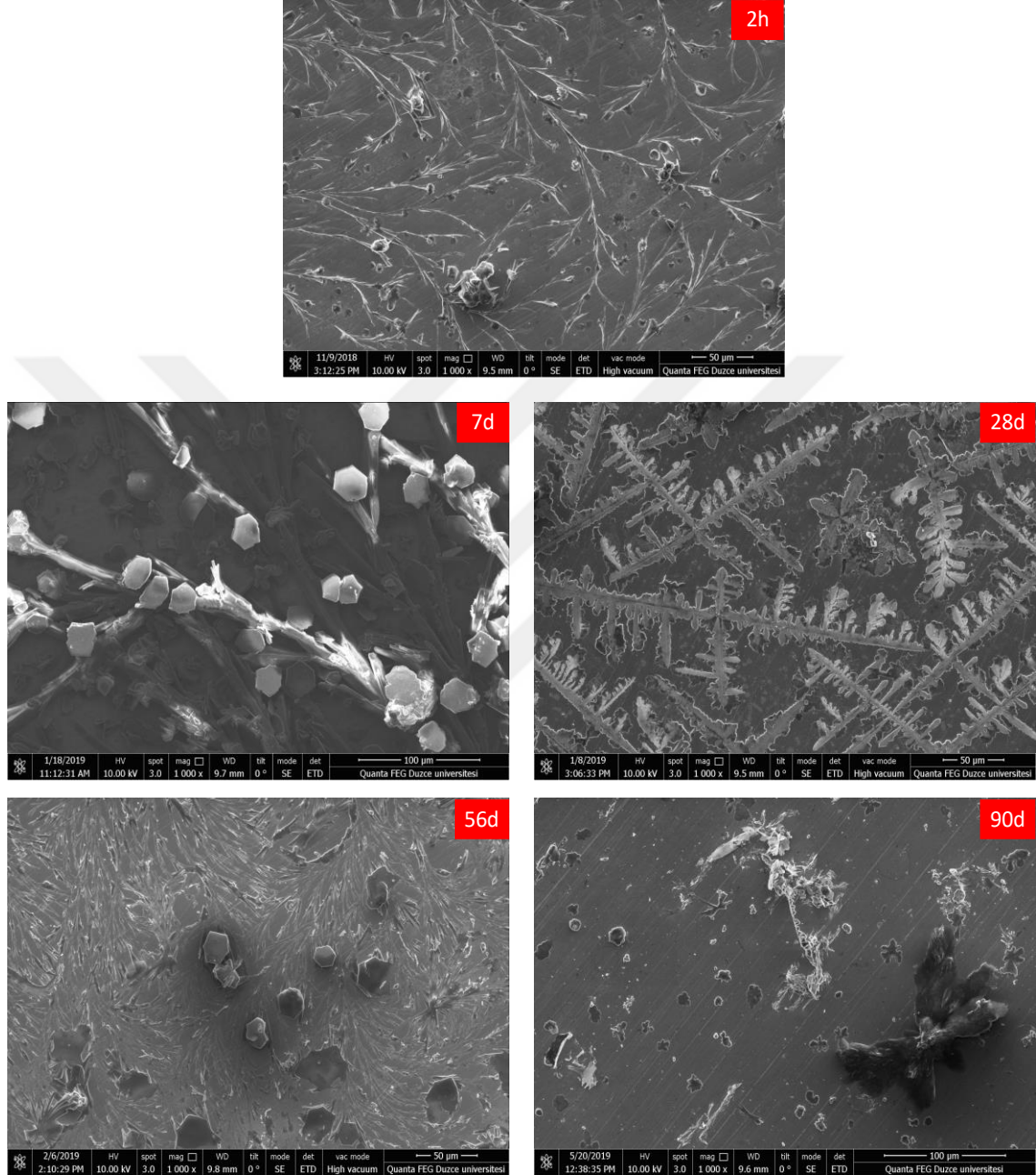


Şekil 3.29. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.29’da yer alan EDS spektrumları detaylı olarak incelendiğinde 2 saat sonunda elde edilen O oranının %3,03 iken 90 gün sonunda %8,05 olduğu; Fe oranının ise aynı zaman aralıkları için %86,18’den %72,11’e düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte bekleme süresinin artışına paralel olarak boşluk suyu yapısında bulunan elementlerin yüzdelerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca kafein molekülünün yapısında bulunan N atomu nedeniyle ortaya çıkan pik inhibitörün metal yüzeye adsorblandığını göstermektedir.

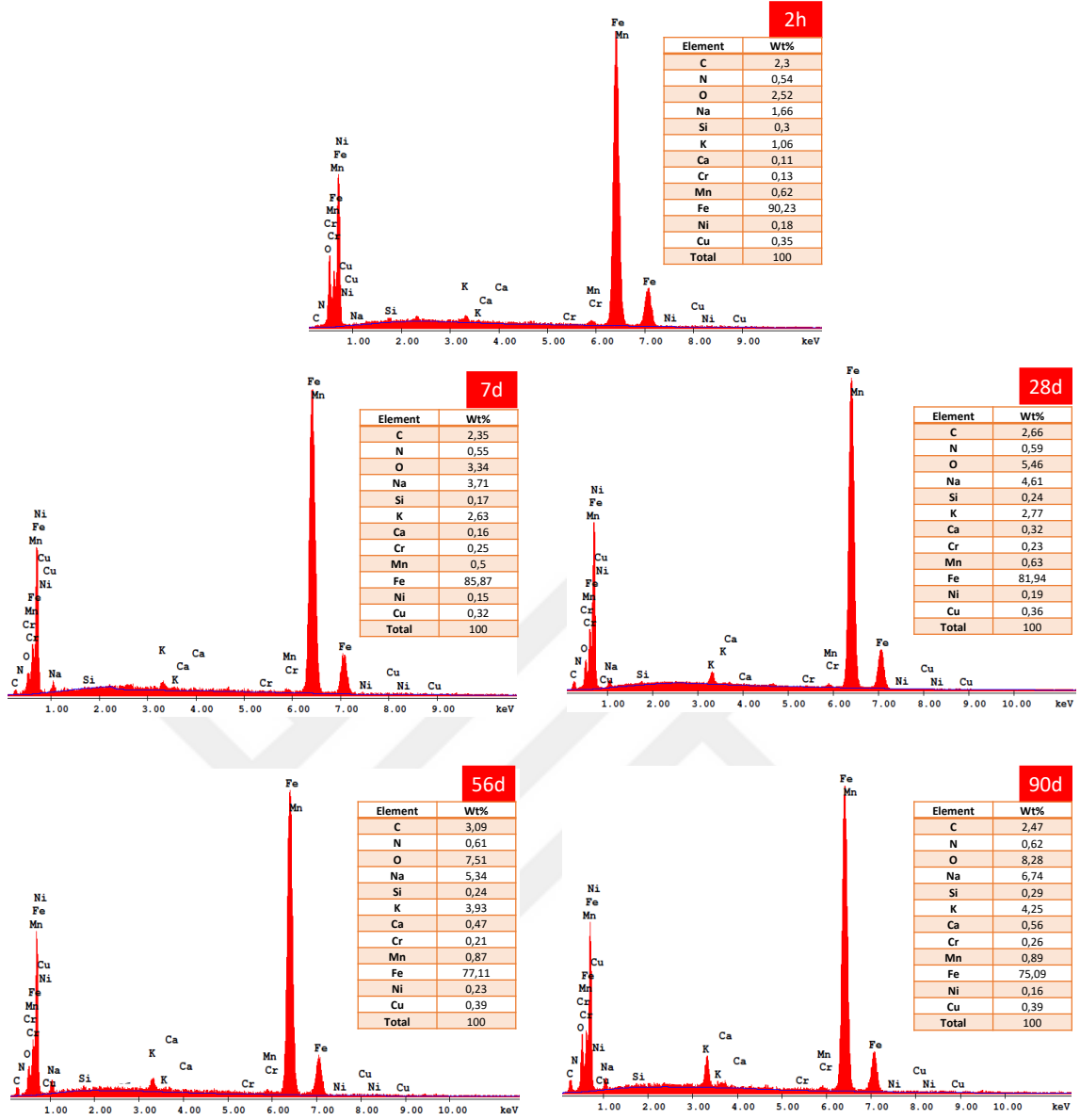
### 3.1.4.3. L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.30’da donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde metal yüzeyinde L-arjininin ilavesi ile boşluk suyu çözeltisi elementlerinin yüzeyde daha belirgin olduğu ve yüzeye absorblandığı gözlenmektedir.

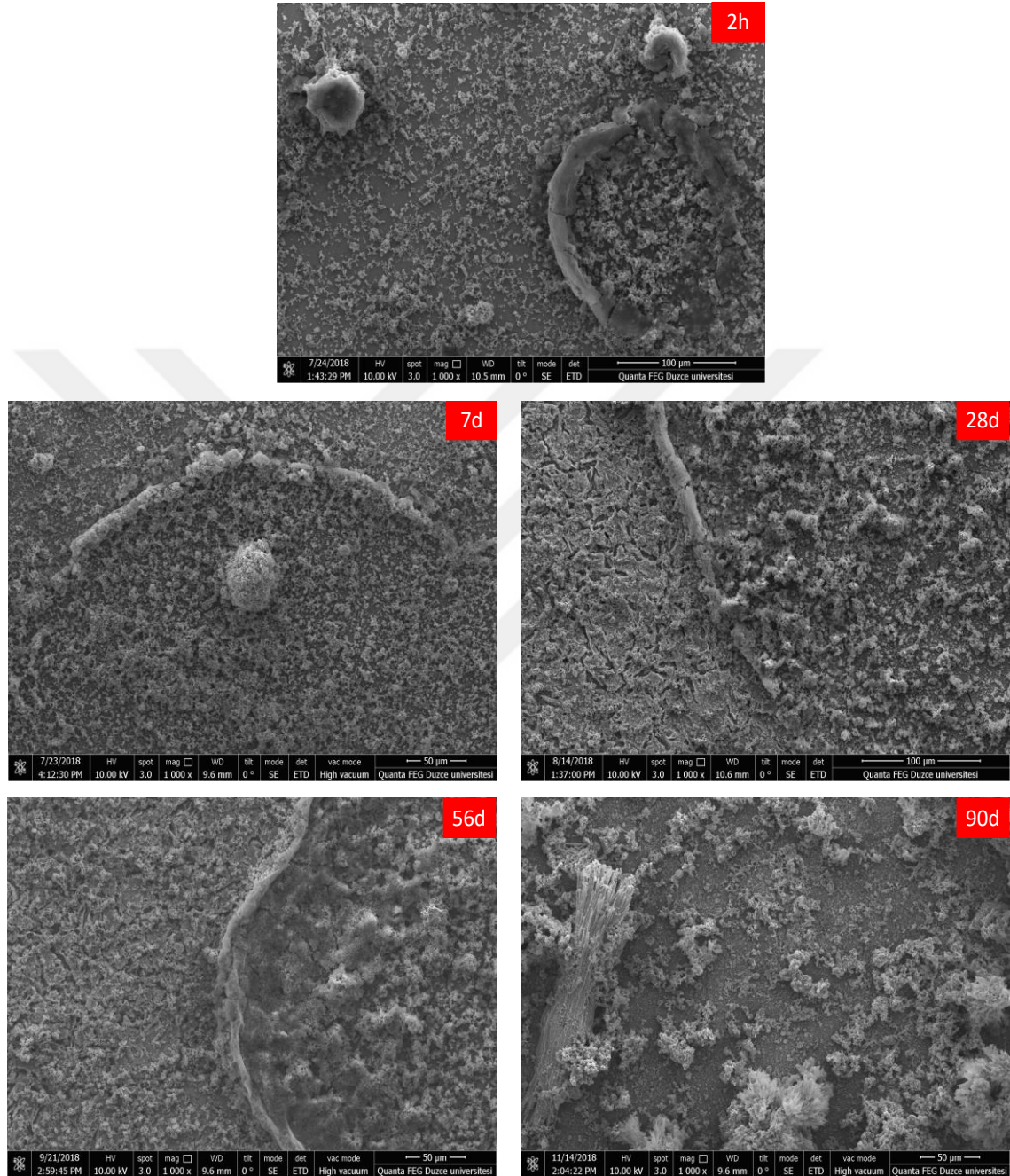


Şekil 3.31. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.31’de yer alan EDS spektrumları detaylı olarak incelendiğinde O oranının 2 saat ile 90 gün oranlarına bakıldığında %2,52’ten %8,28’e yükseldiği; Fe oranının ise aynı zaman aralığında %90,23’ten %75,09’a düştüğü görülmektedir. EDS spektrumlarında bekleme süresinin artışına paralel olarak boşluk suyu yapısında bulunan elementlerin yüzdelerinin arttığı görülmekte ve L-arjinin molekülünün yapısında bulunan N atomuna ait pikin varlığı inhibitörün metal yüzeye adsorblandığını göstermektedir.

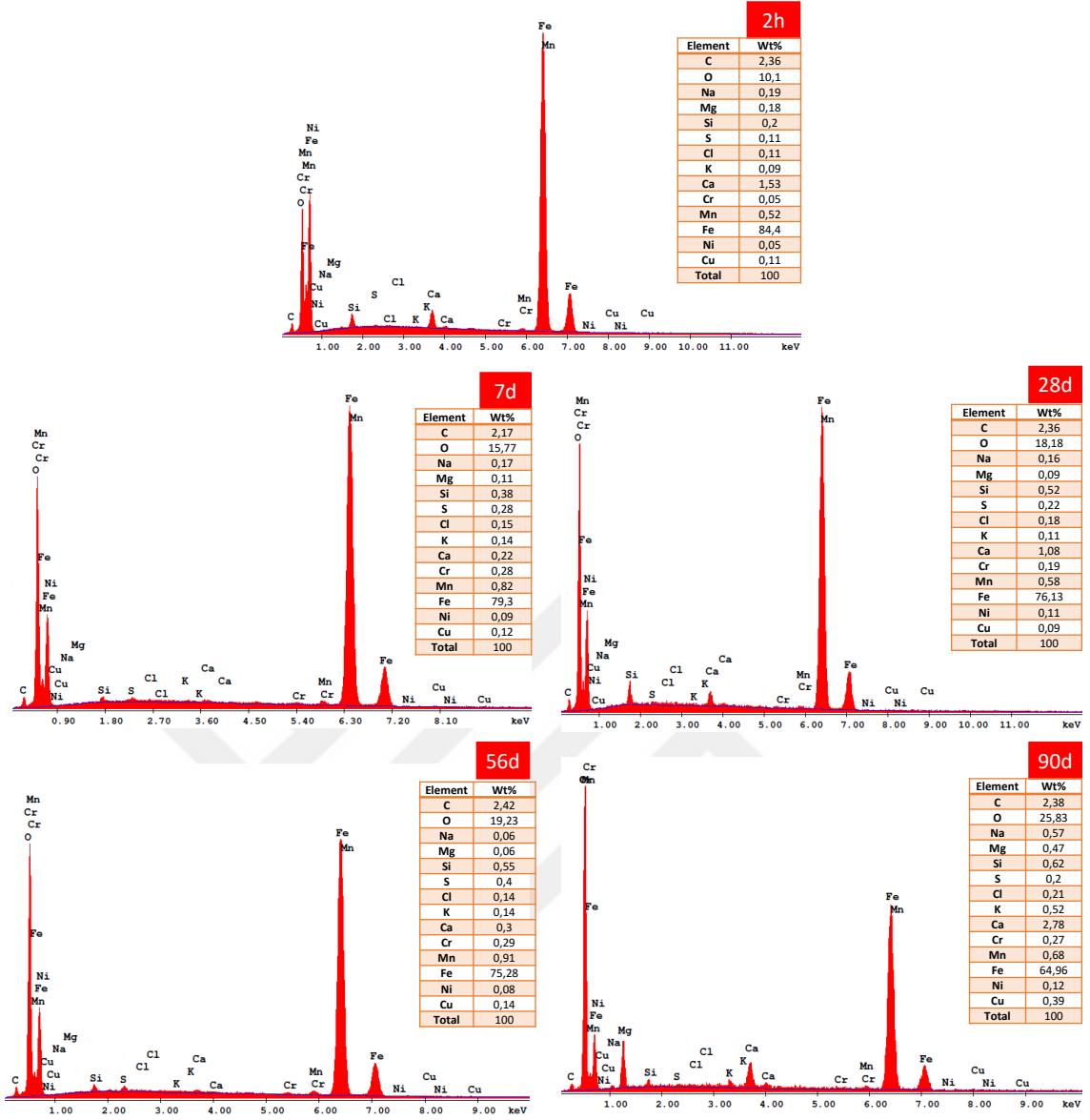
#### 3.1.4.4. Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

Karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.32'de donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde karışım suyunda bekleme süresinin artışına paralel olarak yüzeyde pürüzlülüğün azaldığı gözlenmektedir.

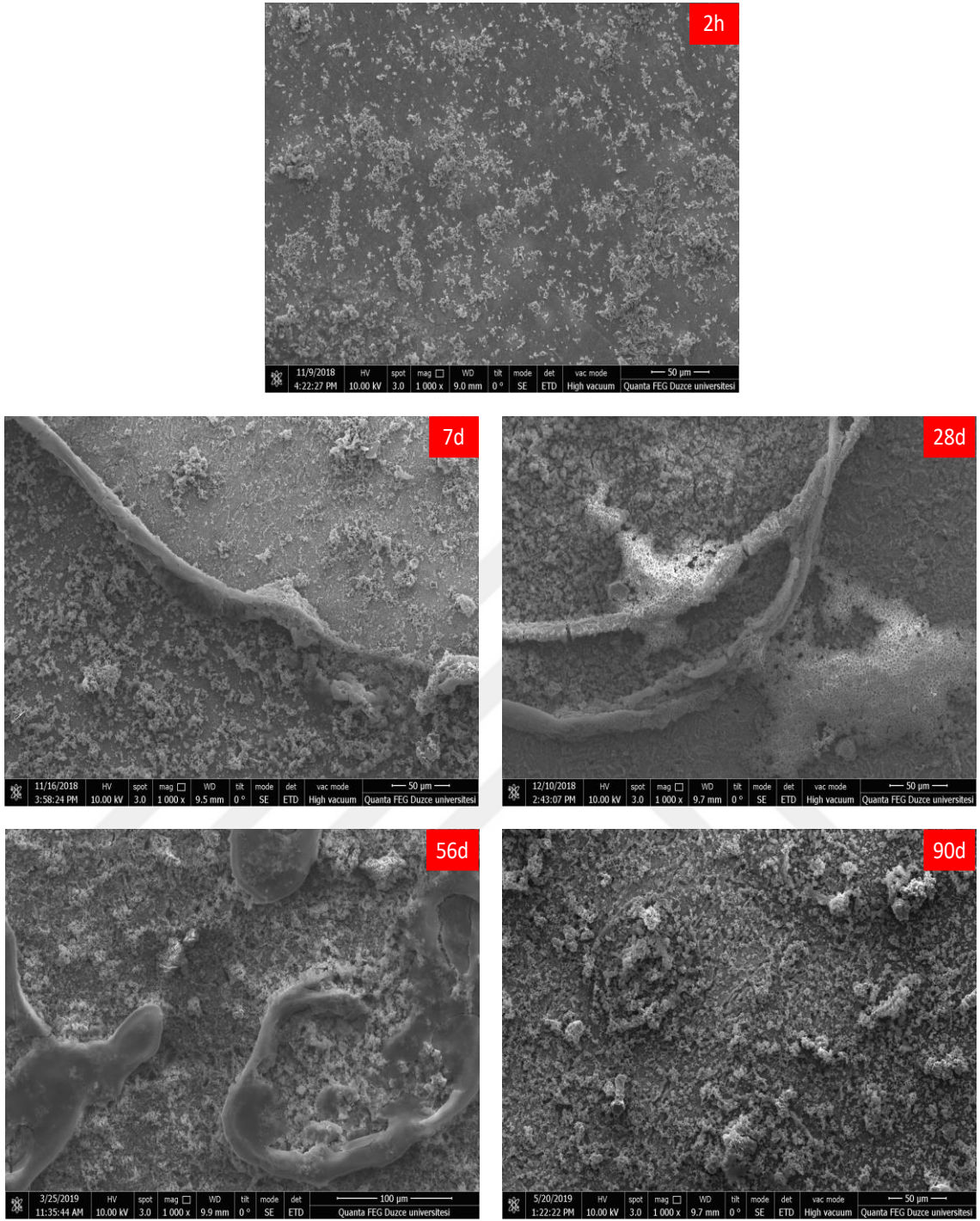


Şekil 3.33. Karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.33'te yer alan EDS spektrumları korozyon açısından Fe ve O elementlerini baz alınarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda O oranının 2 saatlik bekleme süresinde elde edilen değer ile 90 gün sonunda elde edilen değer kıyaslandığında %10,1'den %25,83'e yükseldiği; Fe oranının ise aynı zamanlar için kıyaslandığında %84,4'ten %64,96'ya düştüğü görülmektedir. Bu durum metal yüzeyinde oluşan pasif film ile ilişkilendirilmektedir.

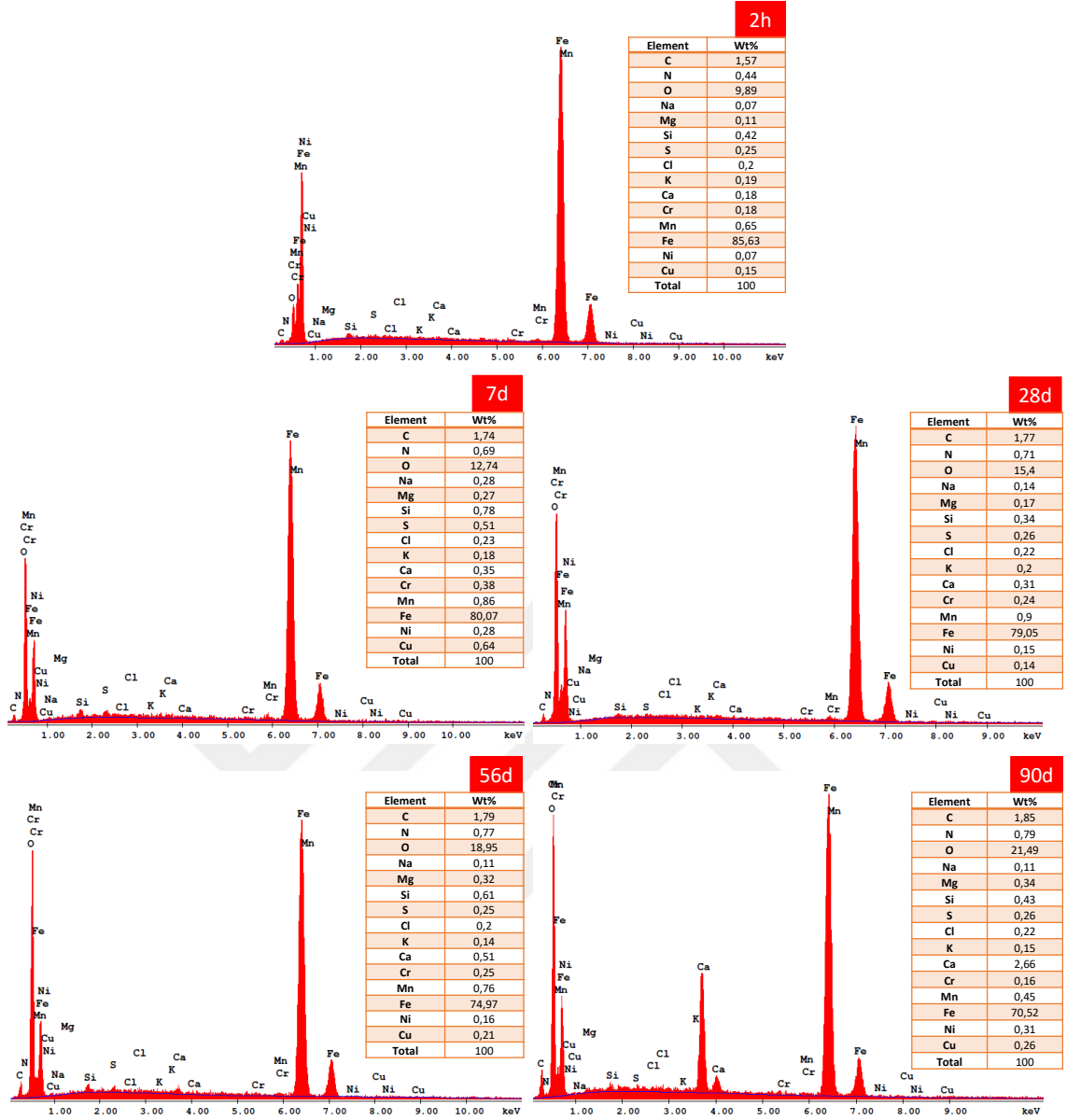
### 3.1.4.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

Kafein ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.34'te donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde bekleme süresinin artışına paralel olarak yüzeyde kafeinin daha belirgin olduğu ve yüzeye absorblandığı gözlenmektedir.

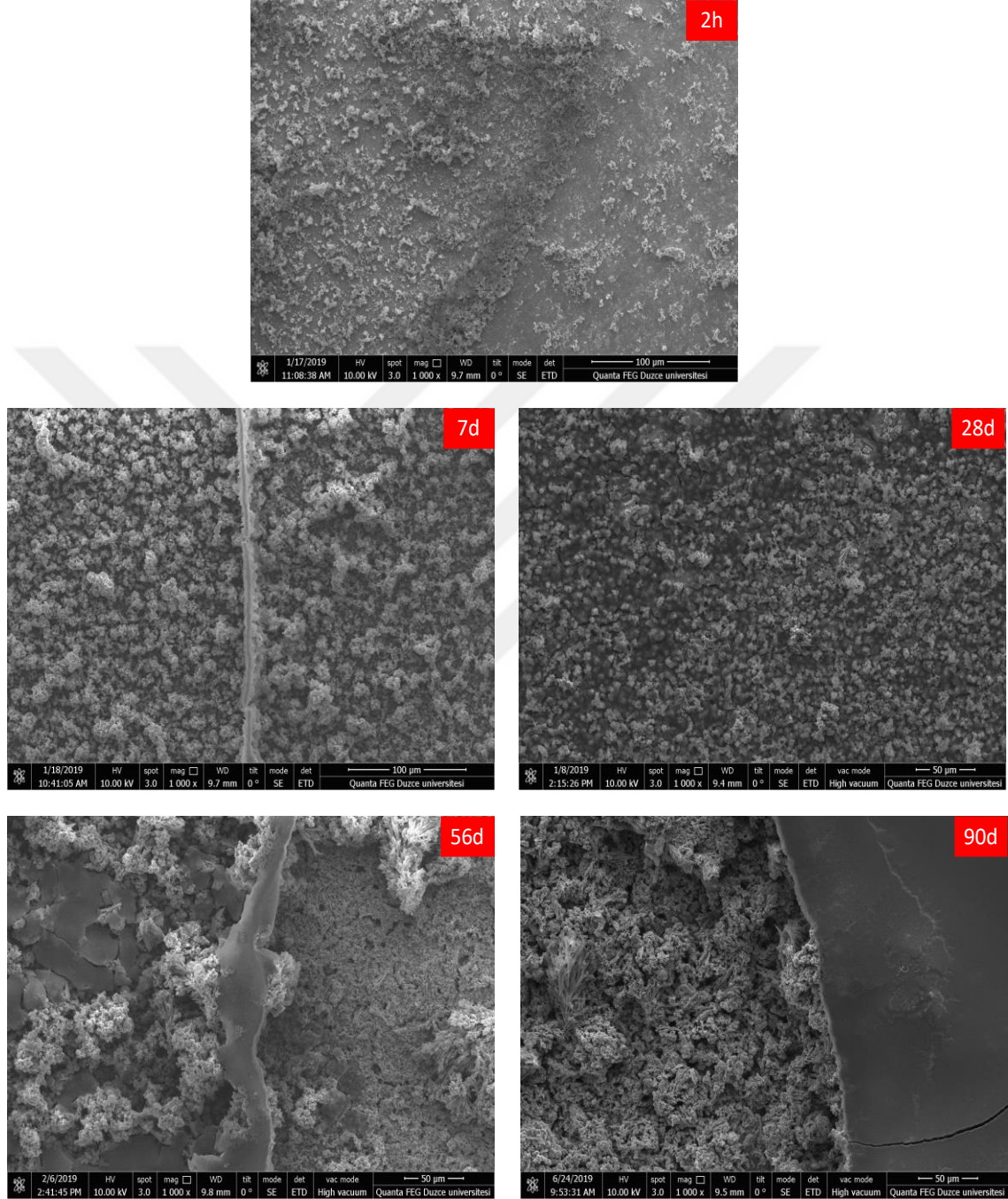


Şekil 3.35. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.35'te yer alan EDS spektrumları inhibitör içerdiğinden O, Fe ve N baz alınarak değerlendirilmiştir. EDS spektrumları incelendiğinde O oranının %9,89'dan %21,49'a yükseldiği; Fe oranının ise %85,63'ten %70,52'ye düştüğü görülmektedir. EDS spektrumlarında yer alan N pikinin ise kafeinin içeriğinde bulunan N elementi ile ortaya çıktığı görülmektedir. Kafein ilaveli karışım suyu ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde yer alan N elementi inhibitörün yüzeye adsorblandığını göstermektedir.

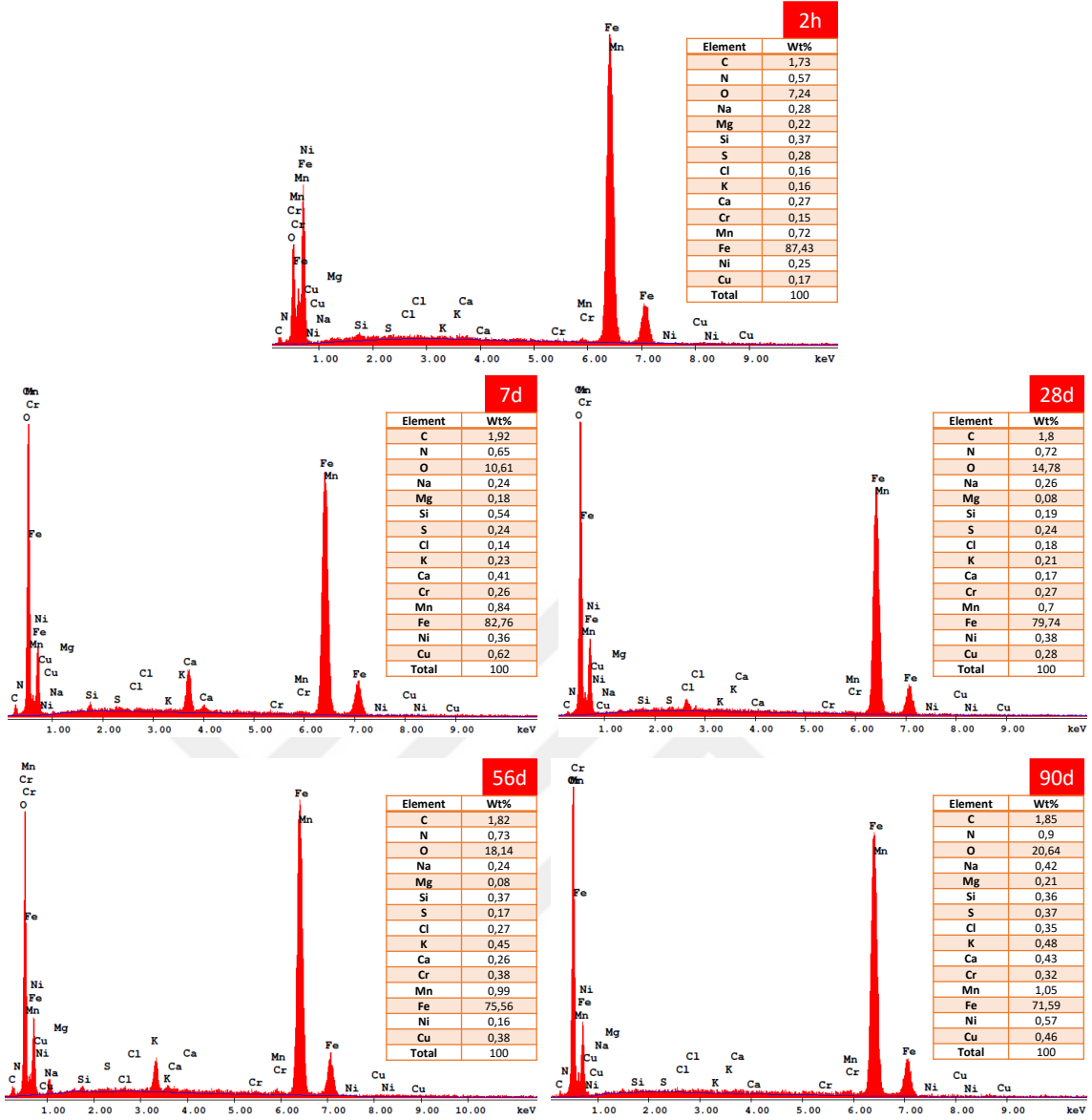
### 3.1.4.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen SEM-EDS Analizleri

L-arjinin ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 3.36 ve Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



Şekil 3.36. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait SEM görüntüleri.

Şekil 3.36’da donatı çeliğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde bekleme süresinin artmasına paralel olarak yüzeyde L-arjininin daha belirgin olduğu ve yüzeye absorblandığı gözlenmektedir.



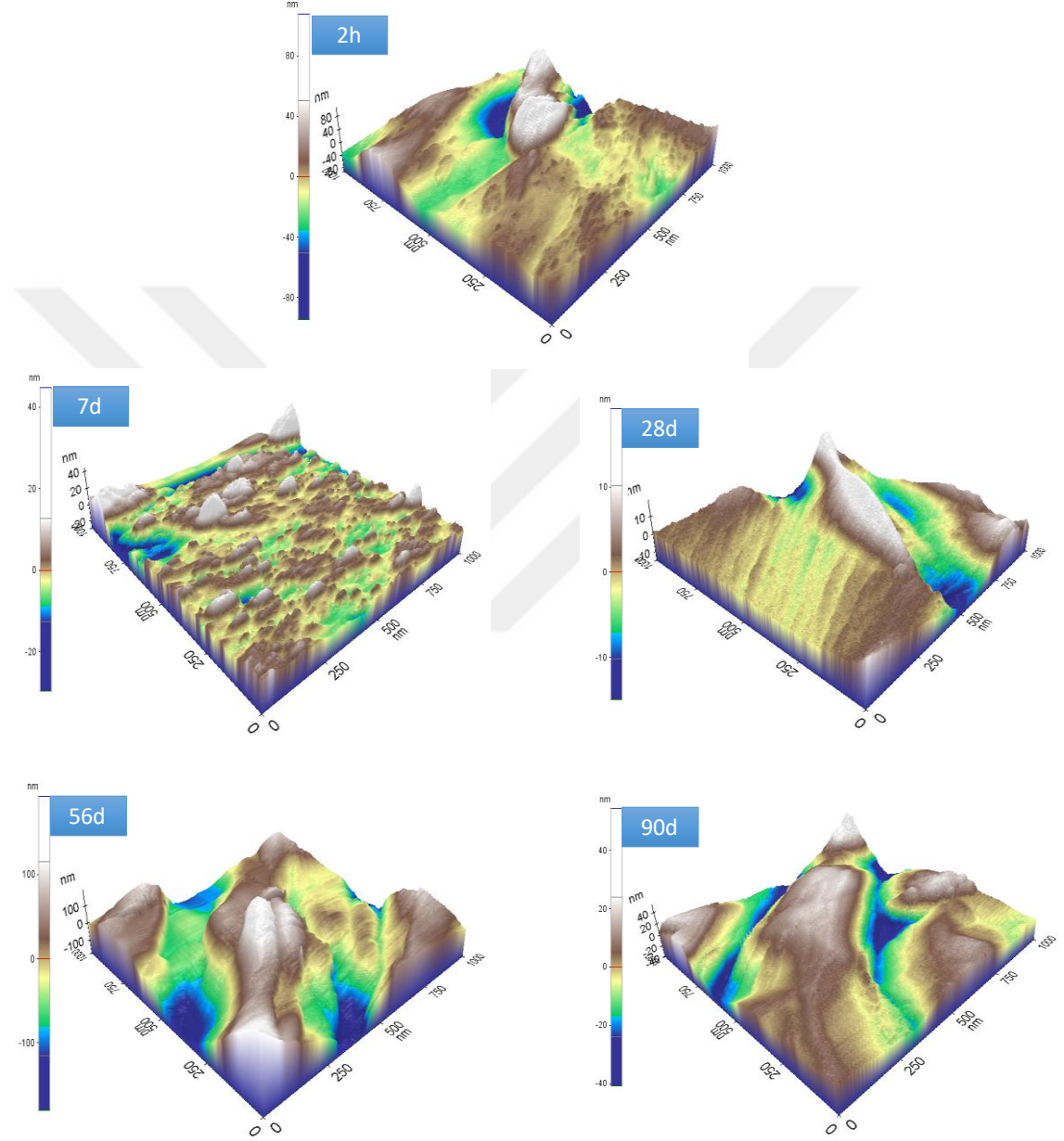
Şekil 3.37. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait EDS analizleri.

Şekil 3.37’de yer alan EDS spektrumları L-arjinin katkılı ortamlarda elde edildiği için kafein ilaveli ortama benzer şekilde incelenmiştir. Tablolarda görüldüğü üzere 2 saat sonunda O oranı %7,24 iken, 90 gün sonunda %20,64 oranında elde edilmiş; Fe oranının ise bu zaman aralıklarında %87,43’ten %71,59’a düştüğü görülmektedir. Yine kafein ile benzer şekilde L-arjininin de N bakımından zengin bir yapıya sahip olması EDS spektrumlarında N pikinin görülmesini sağlamıştır. Bu pik, L-arjinin ilaveli karışım suyu ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde inhibitörün adsorblandığını göstermektedir

### 3.1.5. AFM Analizleri

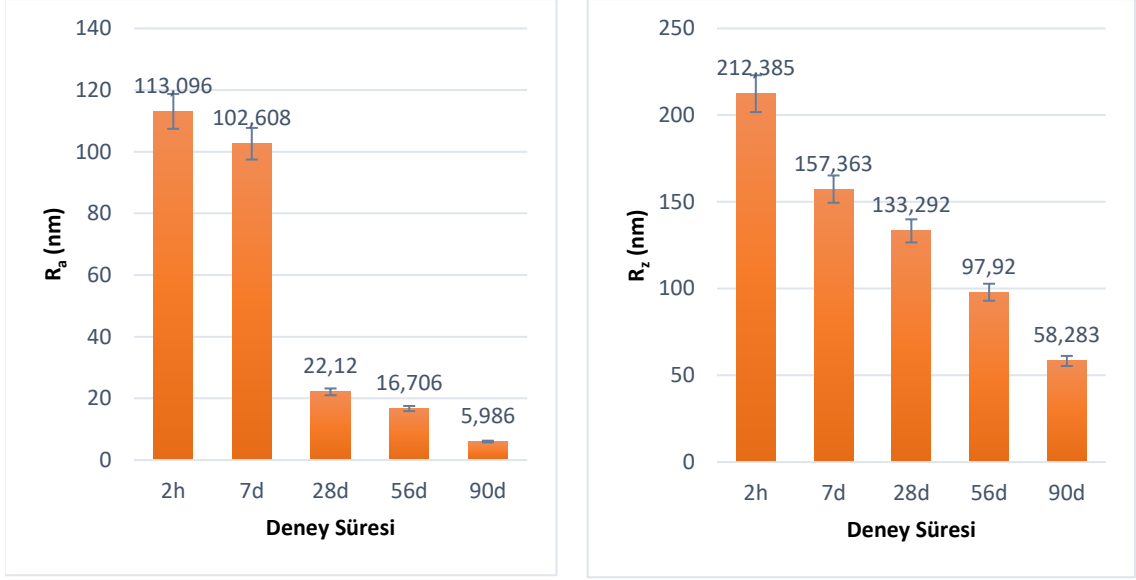
#### 3.1.5.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri

Boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.38’de AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.

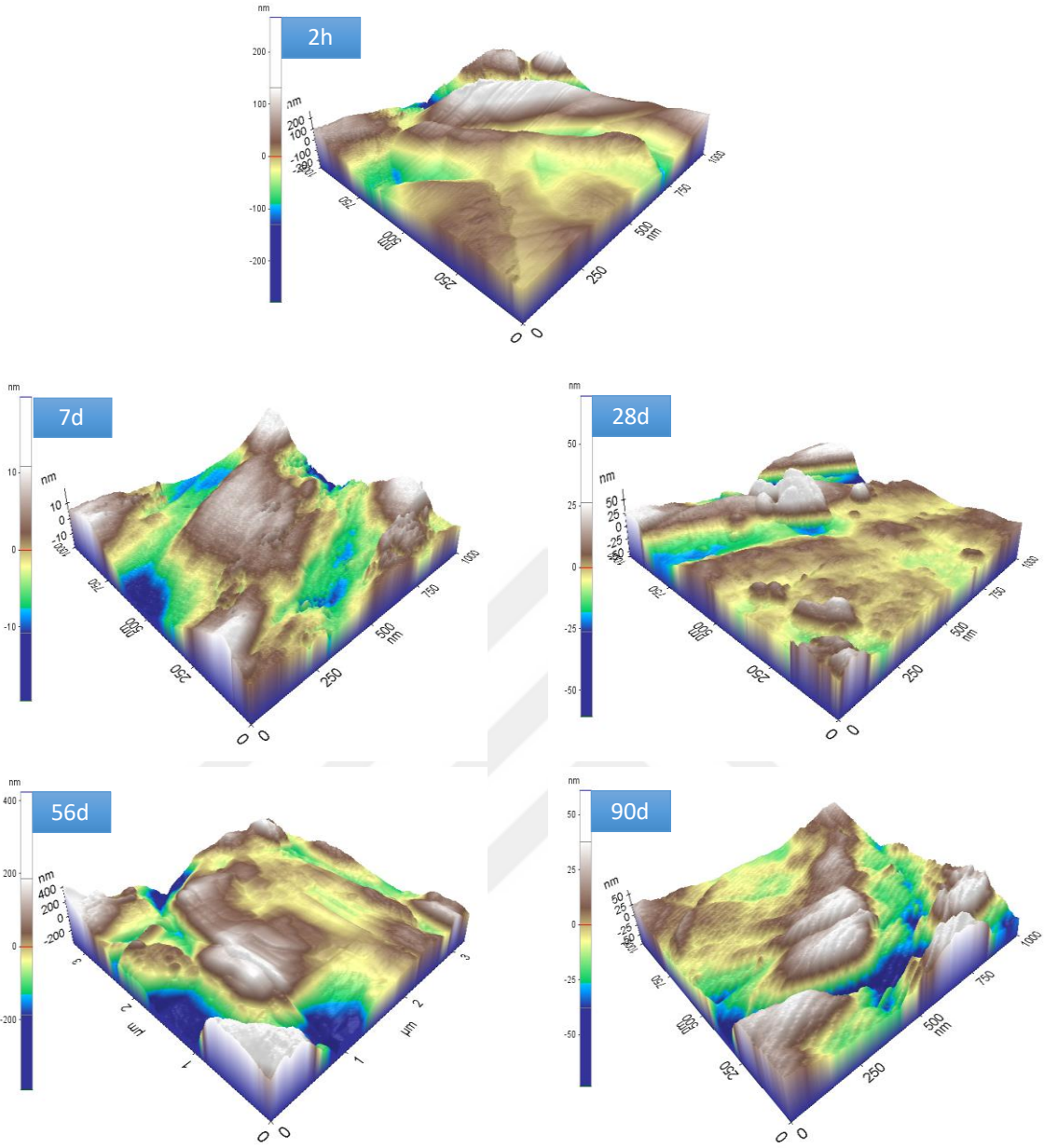


Şekil 3.39. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.39’da 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir.  $R_a$  yüzeyde gözlenen pürüzlülük değerlerinin ortalamasını;  $R_z$  ise on noktadan alınan yüksekliklerin ortalamasını ifade etmektedir [113]. Şekilde  $R_a$  değerlerinde 7 gün sonunda ani bir azalma meydana geldiği ve 90 gün sonunda da azaldığı görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin ise kademeli şekilde azaldığı gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

### 3.1.5.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri

Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.40 ve Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.40'ta AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.

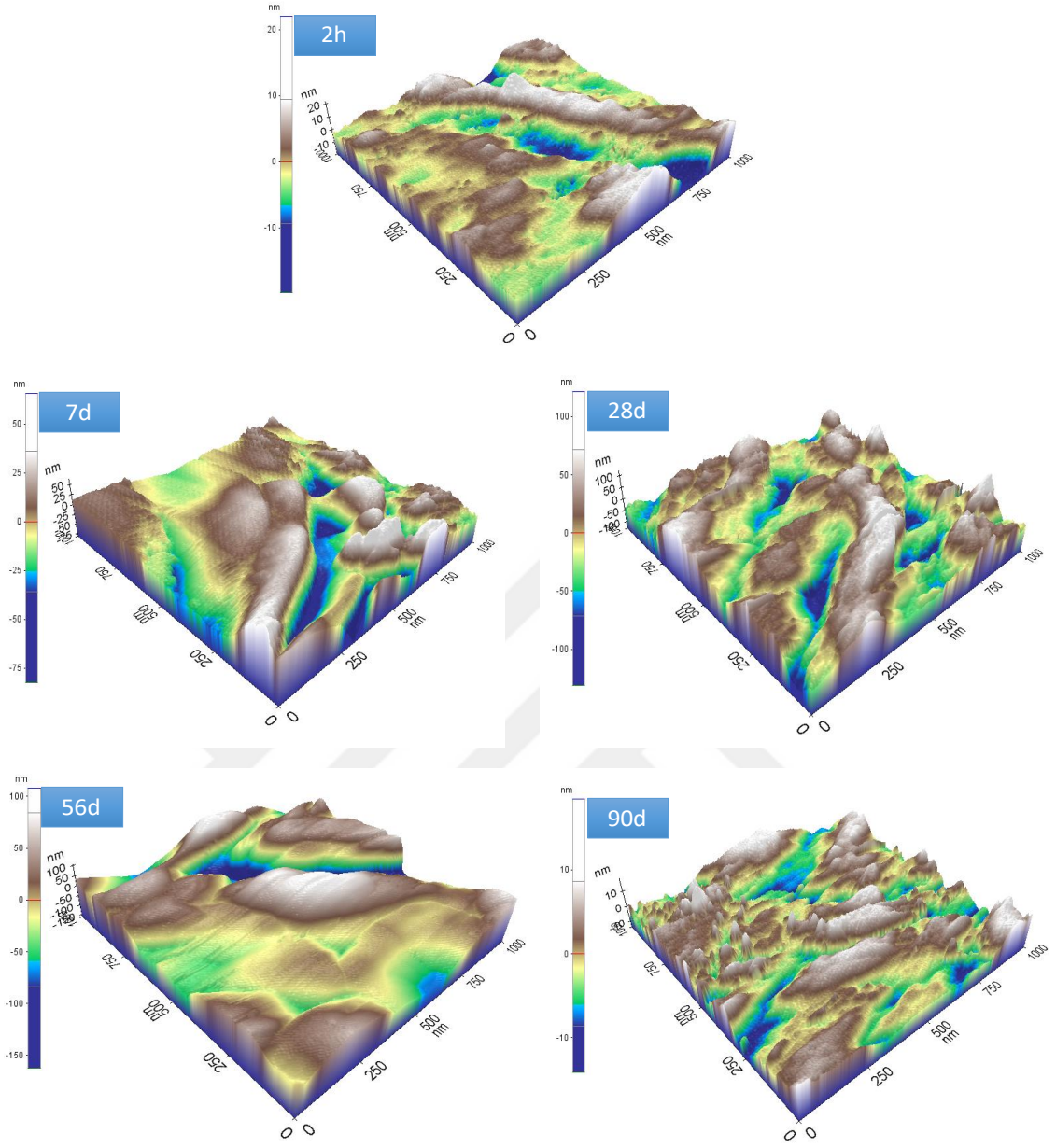


Şekil 3.41. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.41’de 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinde azalma meydana geldiği ve 56 gün ile 90 gün sonundaki elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

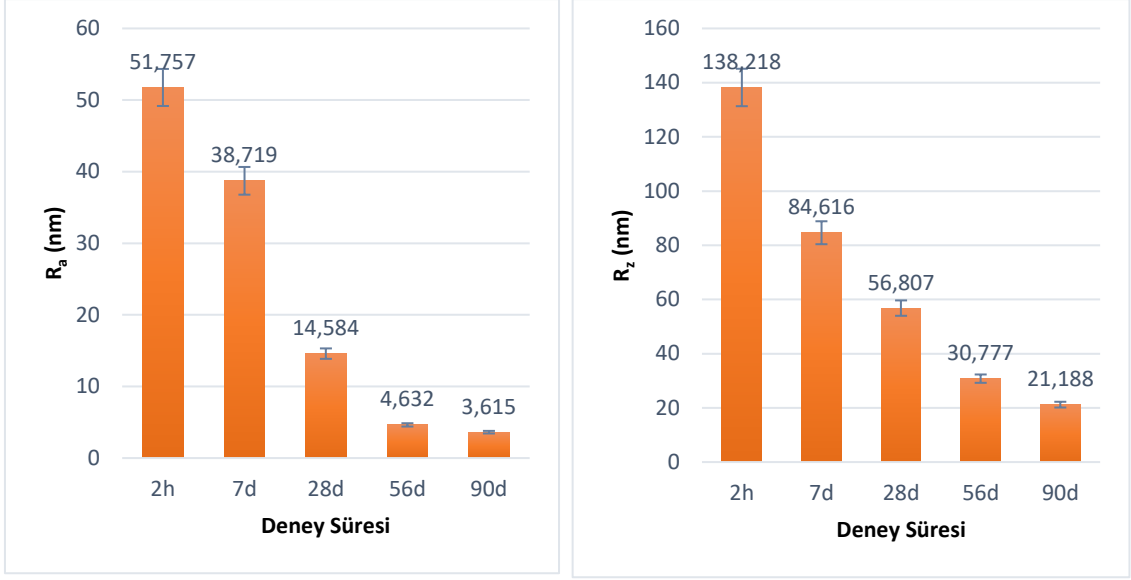
### 3.1.5.3. *L-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen AFM Analizleri*

*L-arjinin* ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.42 ve Şekil 3.43’te gösterilmiştir.



Şekil 3.42. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.42’de AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.

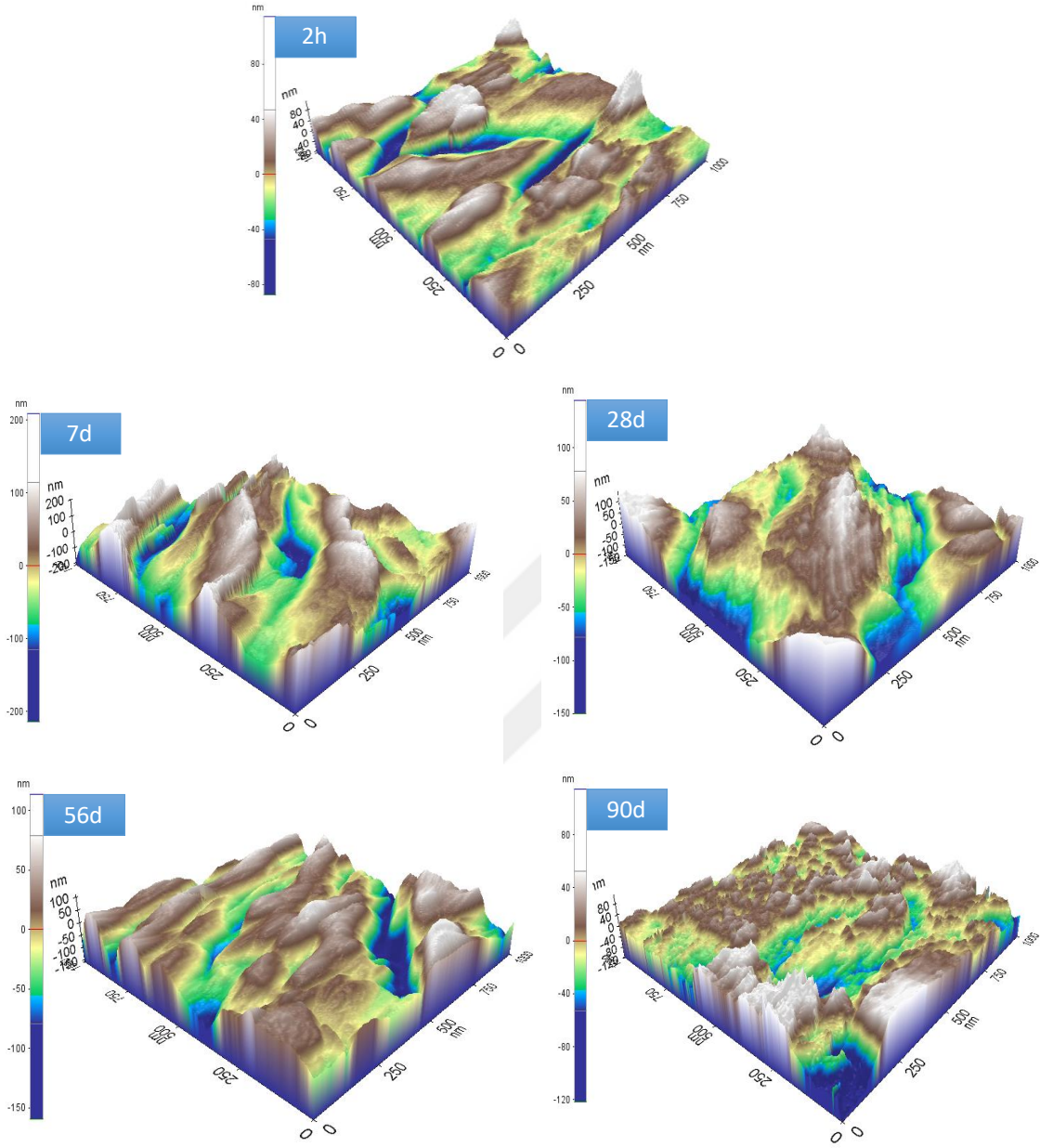


Şekil 3.43. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.43'te 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinde bekleme süresinin artmasıyla azalma meydana geldiği görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

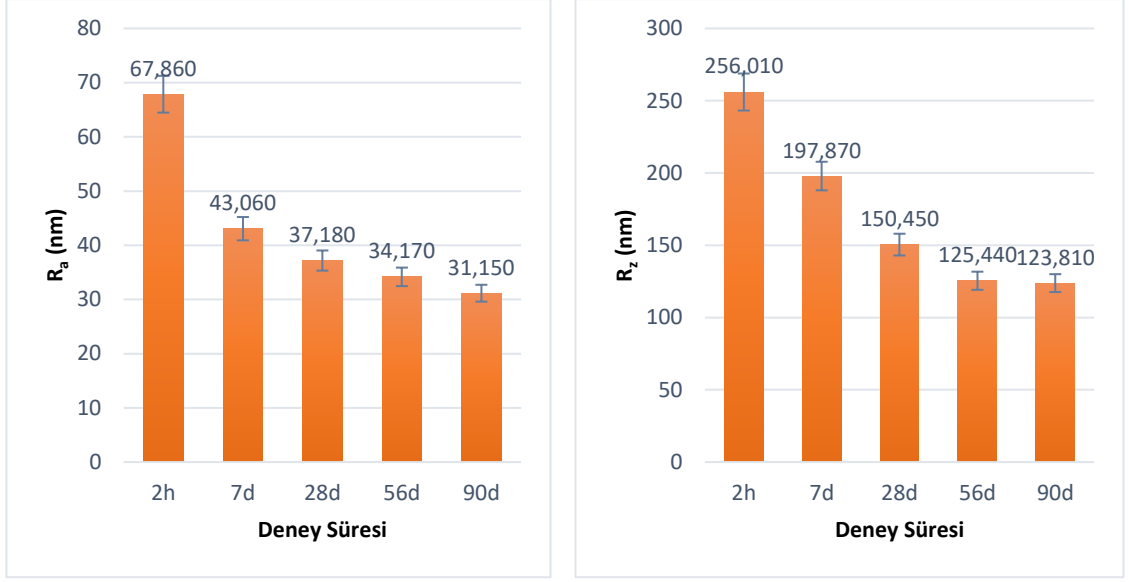
#### 3.1.5.4. Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri

Karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'te gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.44'te AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.

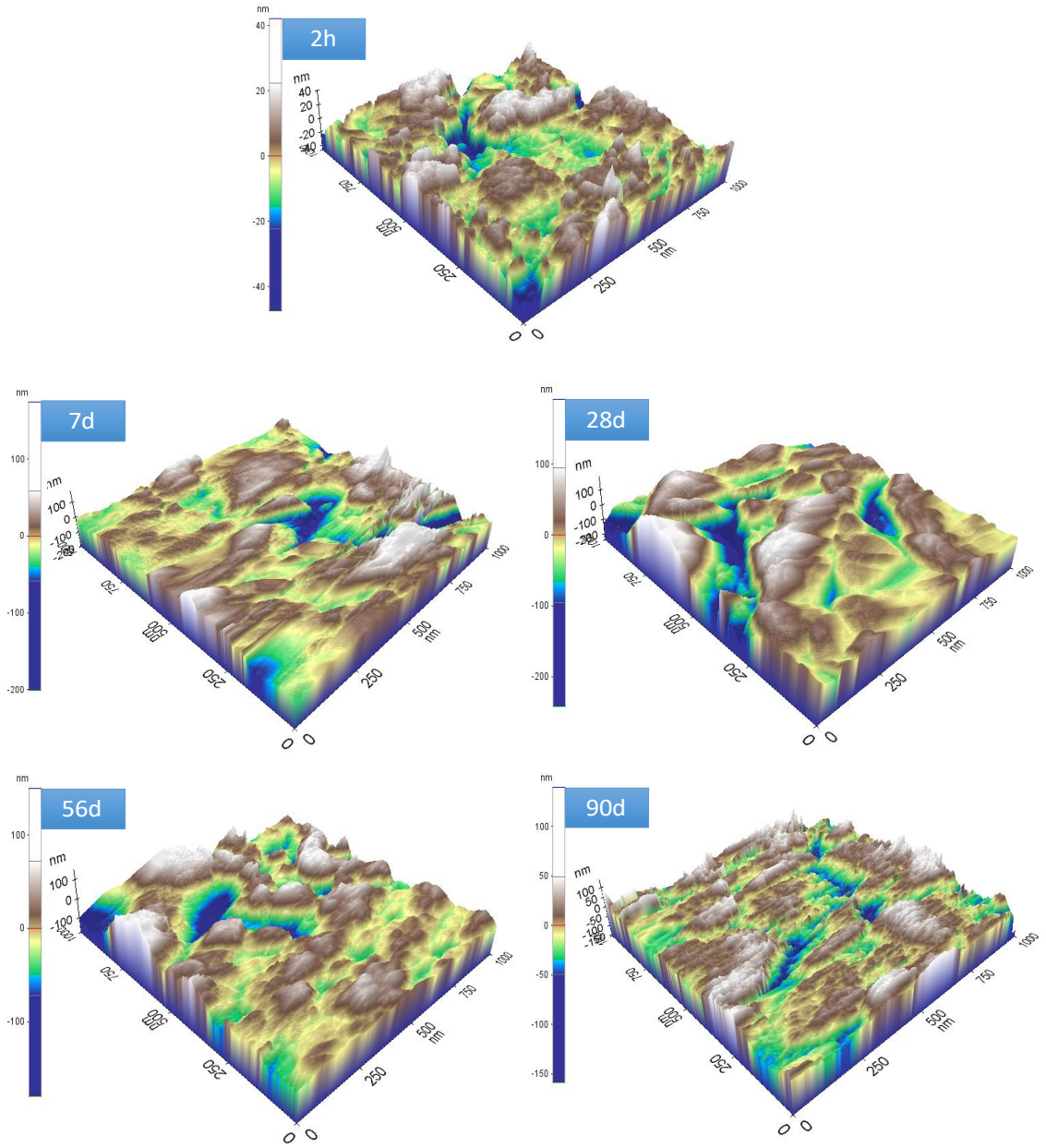


Şekil 3.45. Karışım suyunda donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.45'te 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinin 28 gün sonunda ciddi şekilde değişmediği ve 90 gün sonunda en düşük değerin elde edildiği görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması zamanla korozyon hızının azaldığını ve dolayısıyla metal yüzeyinde daha az deformasyonun oluştuğunu göstermektedir.

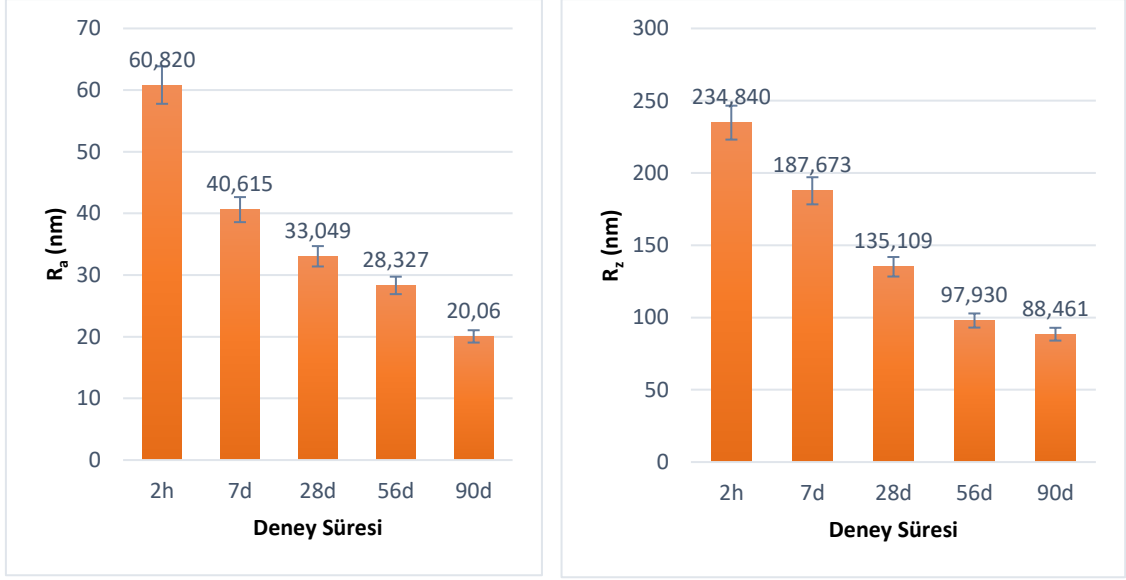
#### 3.1.5.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri

Kafein ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.46 ve Şekil 3.47'de gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.46’da AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.

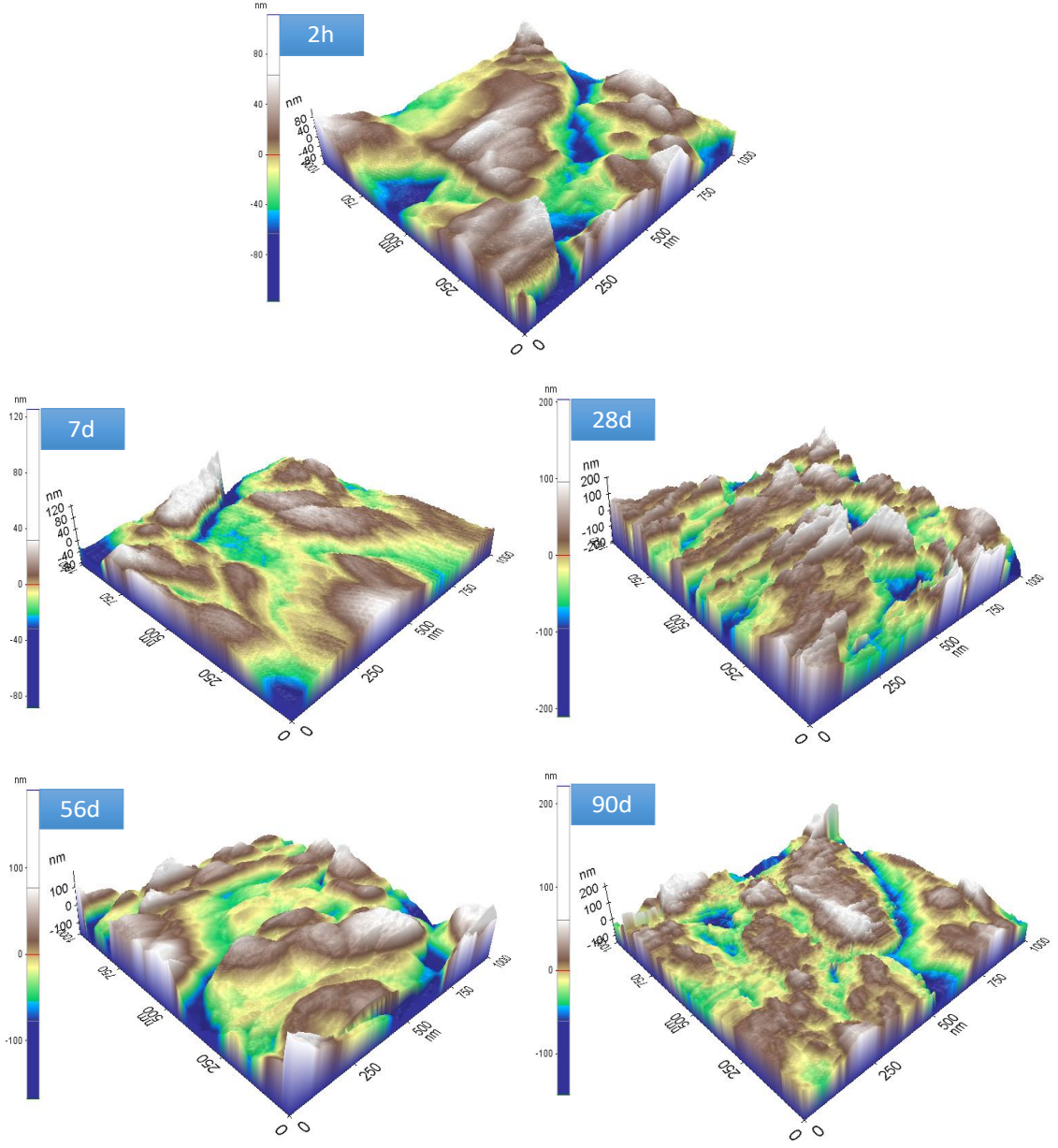


Şekil 3.47. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.47’de 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinin 60,82 nm’den kademeli olarak 90 gün sonunda 20,06 nm değerine düştüğü görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de benzer şekilde 234,840 nm’den 88,461 nm’ye azaldığı gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

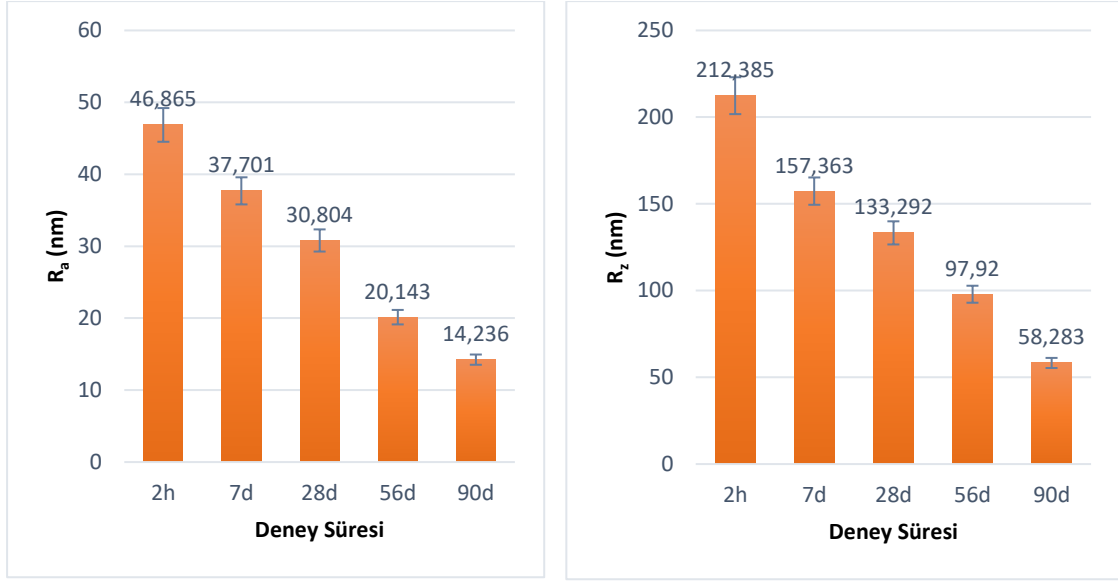
### 3.1.5.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen AFM Analizleri

L-arjinin ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait AFM analiz sonuçları Şekil 3.48 ve Şekil 3.49’da gösterilmiştir.



Şekil 3.48. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait AFM analizleri.

Şekil 3.48’de AFM analizi görüntülerinde donatı çeliğinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir.



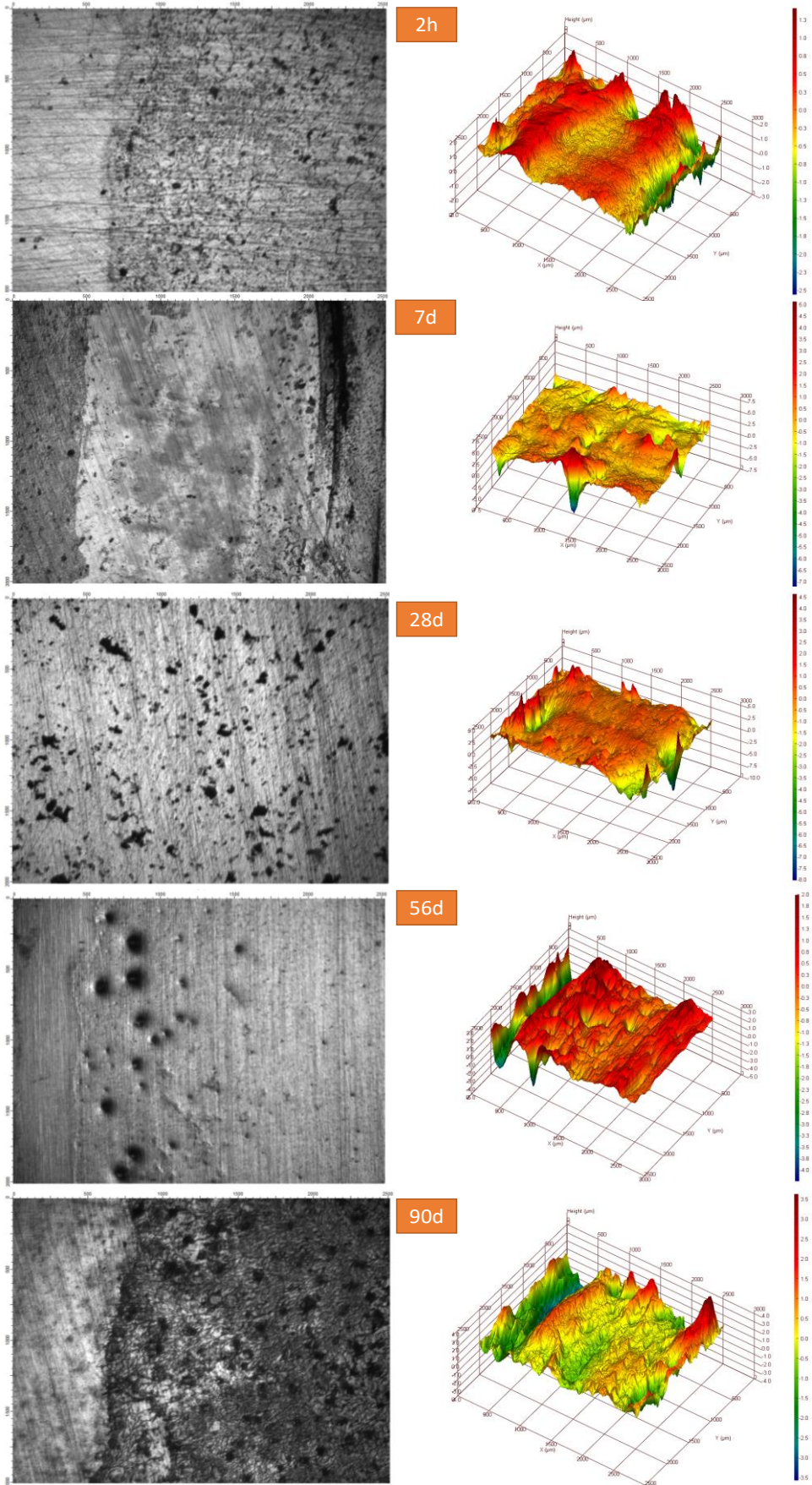
Şekil 3.49. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.49’da 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinin kademeli olarak 46,865 nm’den 14,236 nm’den azaldığı ve 90 gün sonunda en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. 2h sonunda elde edilen  $R_z$  değerinin 212,385 nm olduğu; maruz kalma süresi arttıkça bu değer 90 gün sonunda 58,283 nm değerine düştüğü gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

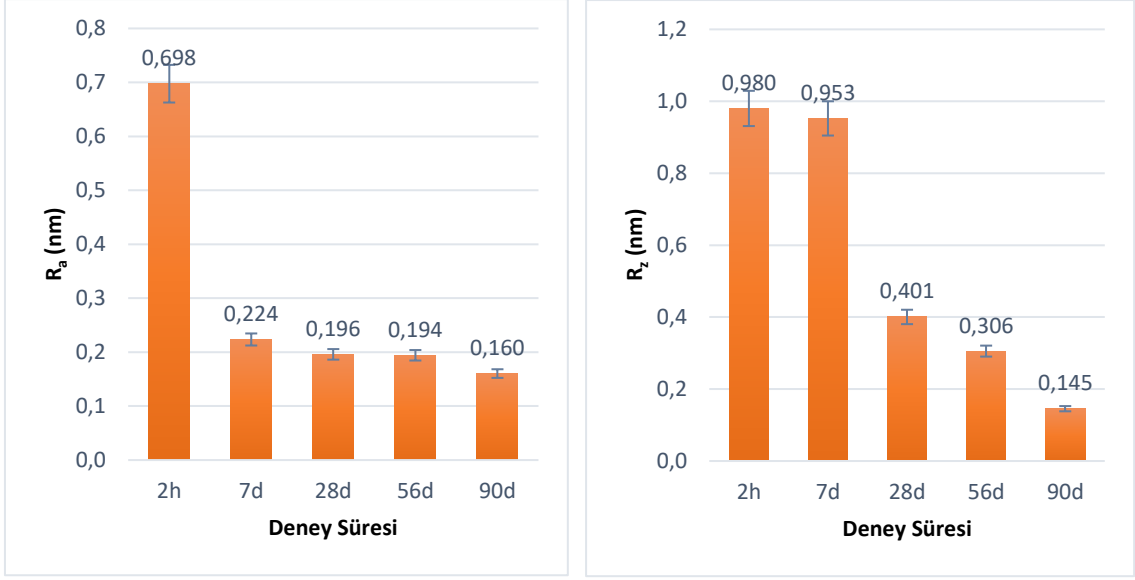
### 3.1.6. OP Analizleri

#### 3.1.6.1. Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen OP Analizleri

Boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.50 ve Şekil 3.51’de gösterilmiştir.



Şekil 3.50. Boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri.

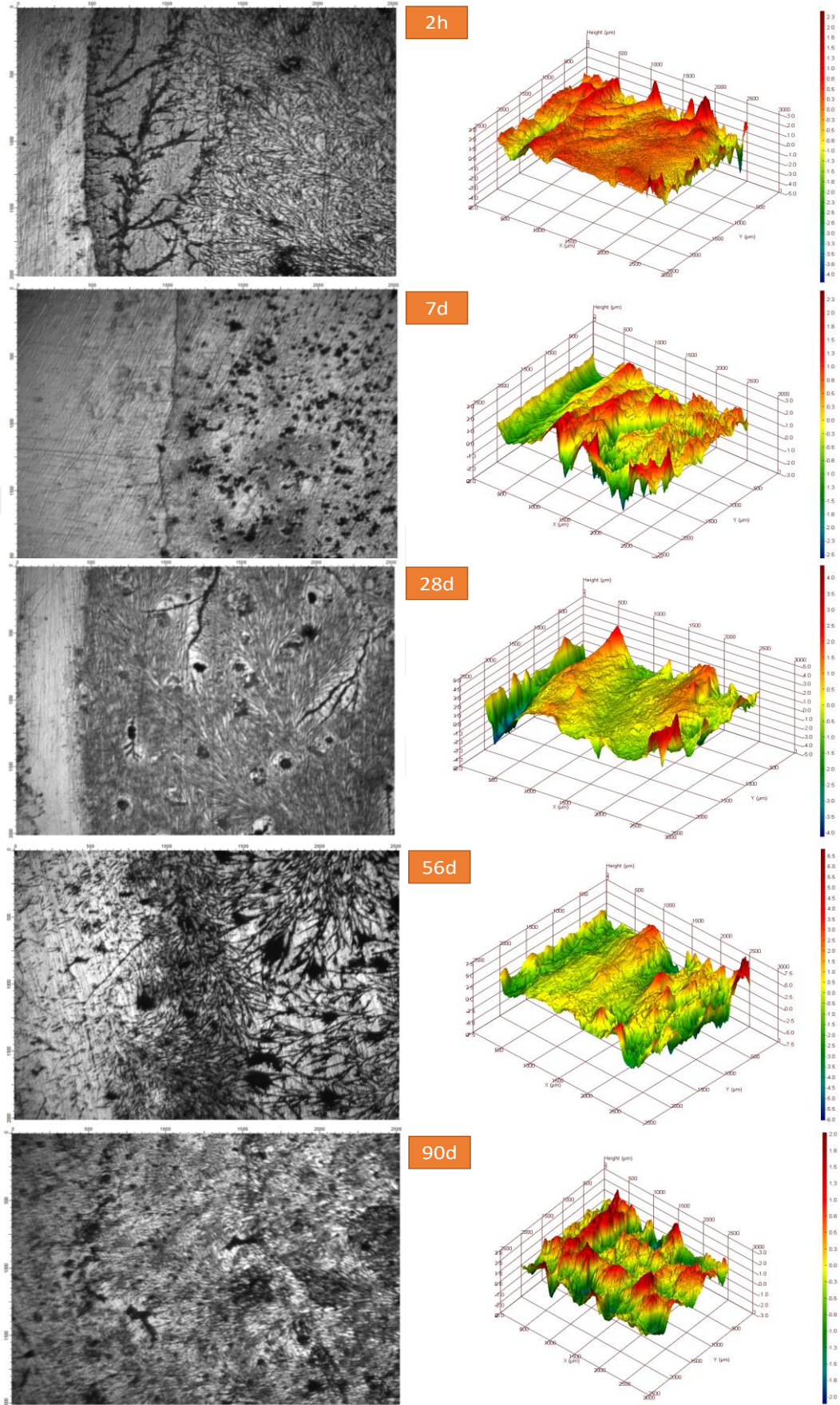


Şekil 3.51. Boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

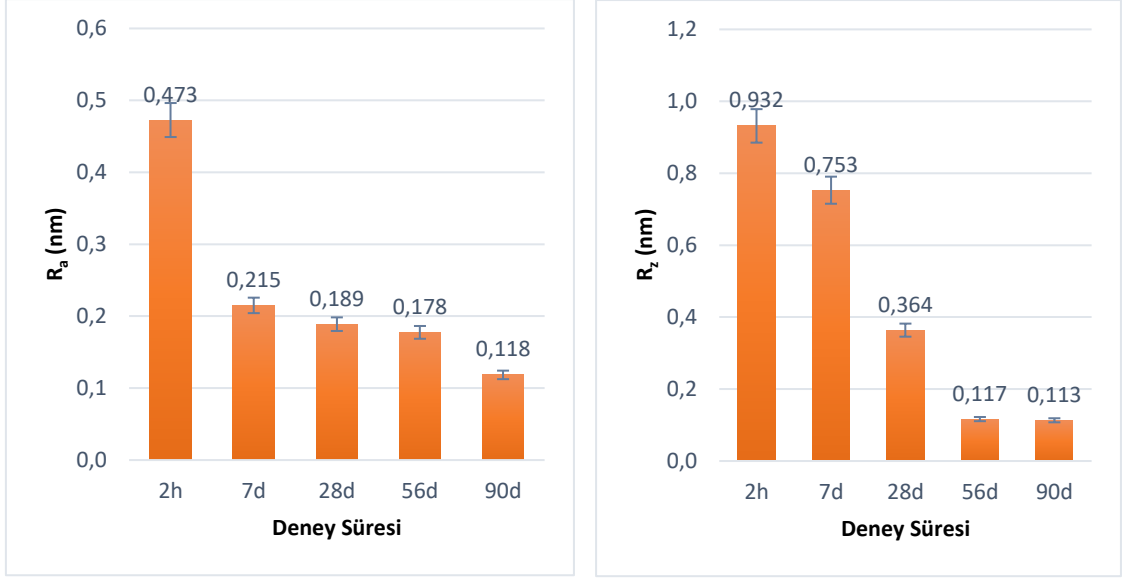
Şekil 3.50’de OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.51’de 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinde 7 gün sonunda ani bir azalma meydana geldiği ve sonrasında gözlemlenen değişimin birbirine yakın olduğu görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de azalmanın 28 gün sonunda meydana geldiği ve 90 gün sonunda en düşük pürüzlülük değerini elde edildiği gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

### 3.1.6.2. Kafein İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen OP Analizleri

Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.52 ve Şekil 3.53’te gösterilmiştir.



Şekil 3.52. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri.

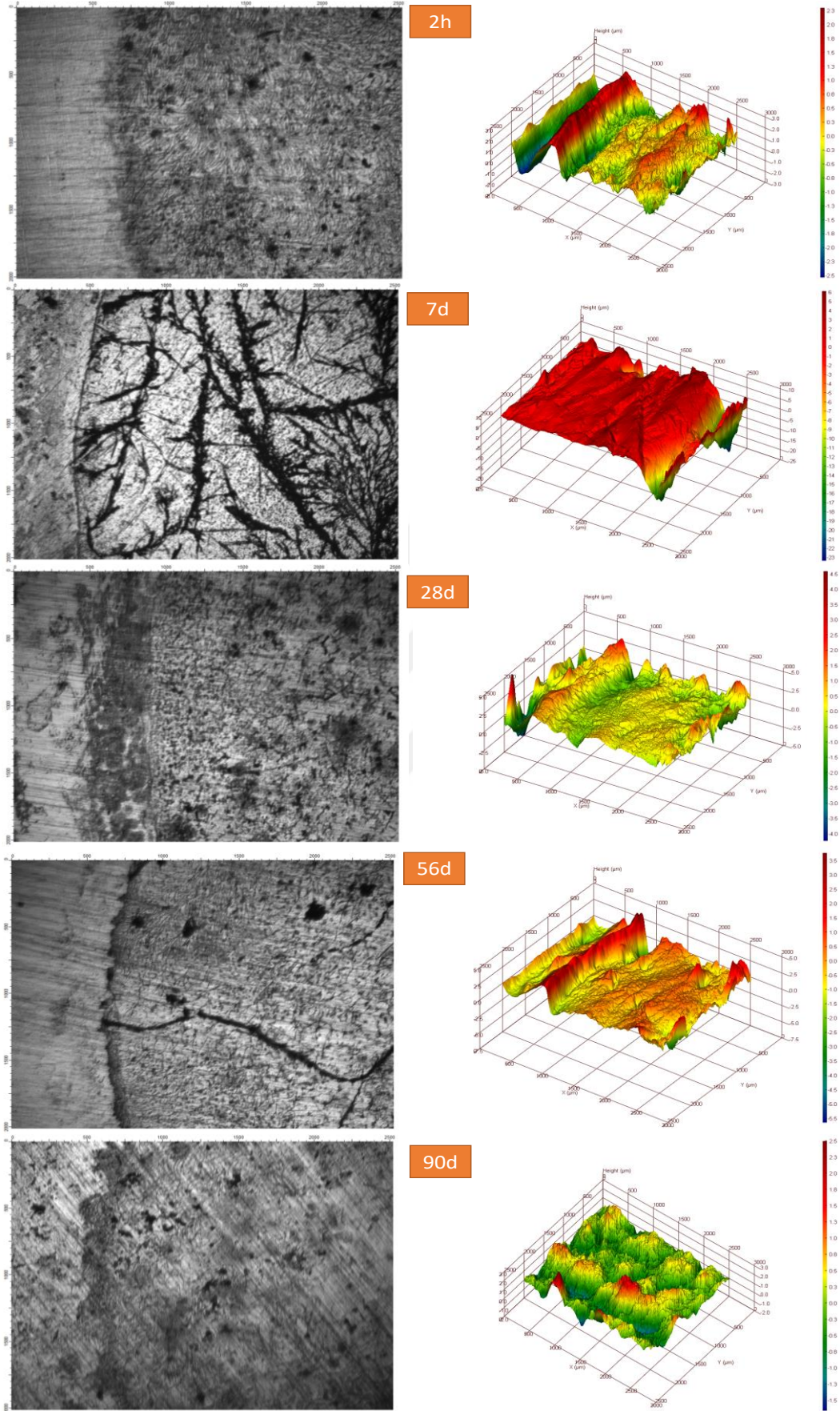


Şekil 3.53. Kafein ilaveli boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

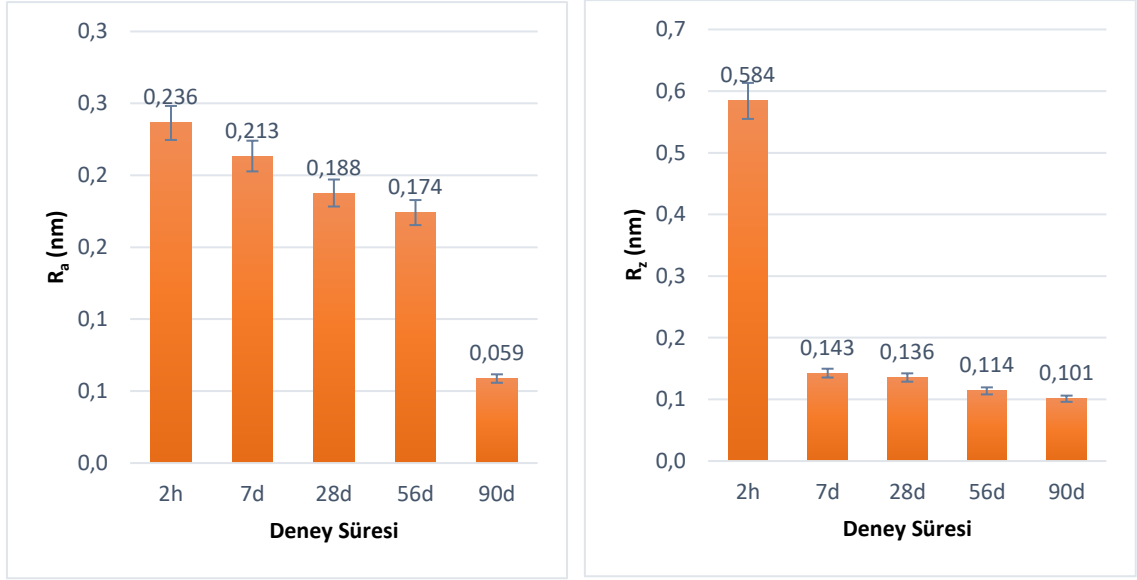
Şekil 3.52’de OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.53’te 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde 2 saat sonunda  $R_a$  değerinin 0,473 nm ve  $R_z$  değerinin ise 0,932 nm olduğu görülmektedir. 90 gün sonunda bu değerlerin 0,118 nm ve 0,113 nm’ye düştüğü belirlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

### 3.1.6.3. *L*-arjinin İlaveli Boşluk Suyu Çözeltisinde Elde Edilen OP Analizleri

*L*-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisine 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.54 ve Şekil 3.55’te gösterilmiştir.



Şekil 3.54. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri

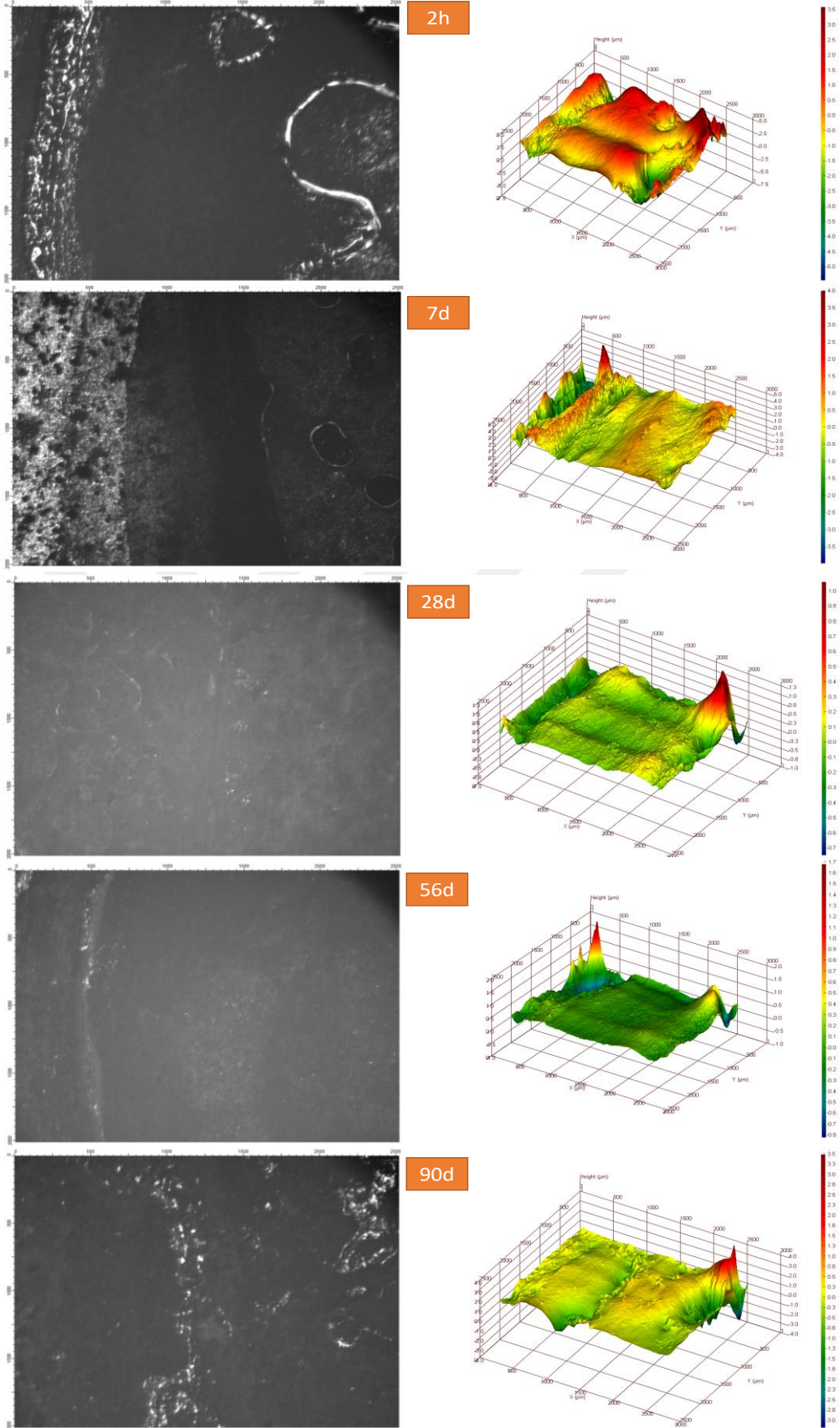


Şekil 3.55. L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

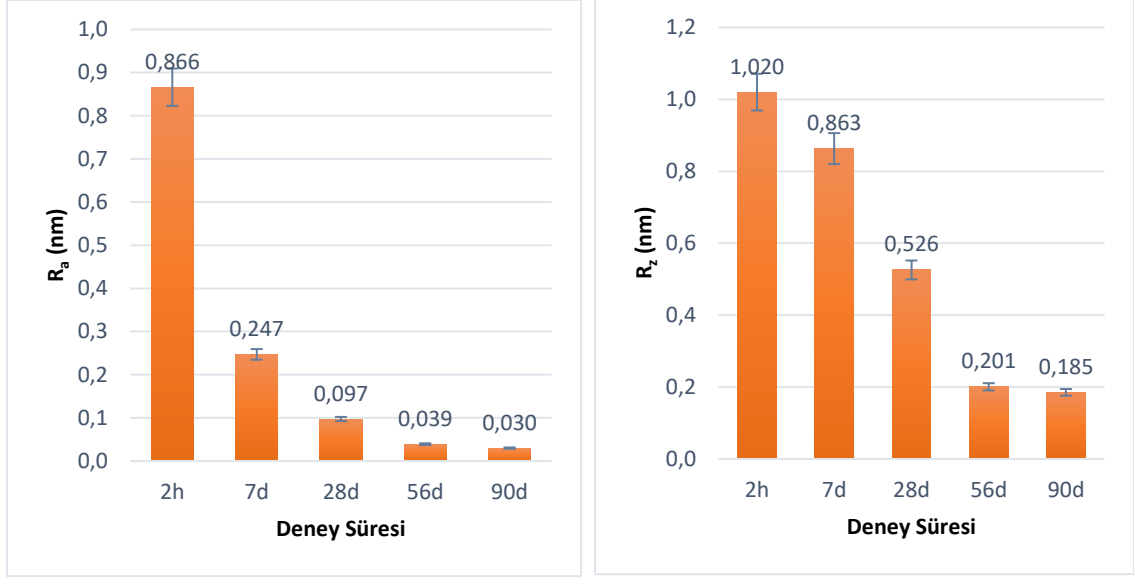
Şekil 3.54’de OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.55’te 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerlerinde kademeli olarak azalma meydana geldiği ve 90 gün sonunda en düşük değerin elde edildiği görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de azalmanın 7 gün sonunda meydana geldiği ve 90 gün sonunda en düşük pürüzlülük değerini elde edildiği gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

#### 3.1.6.4. Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri

Karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.56 ve Şekil 3.57’de gösterilmiştir.



Şekil 3.56. Karışım suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait OP analizleri.

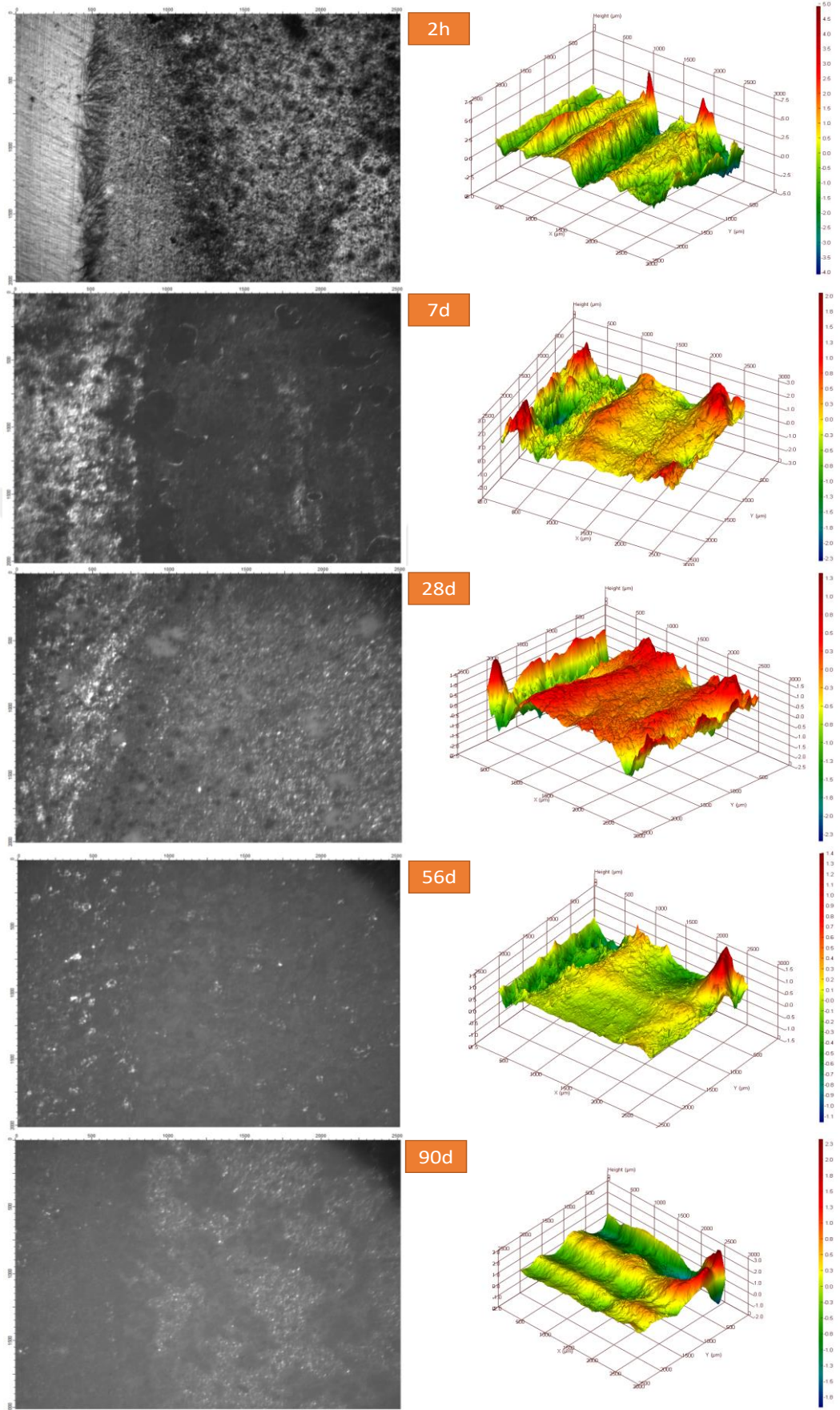


Şekil 3.57. Karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

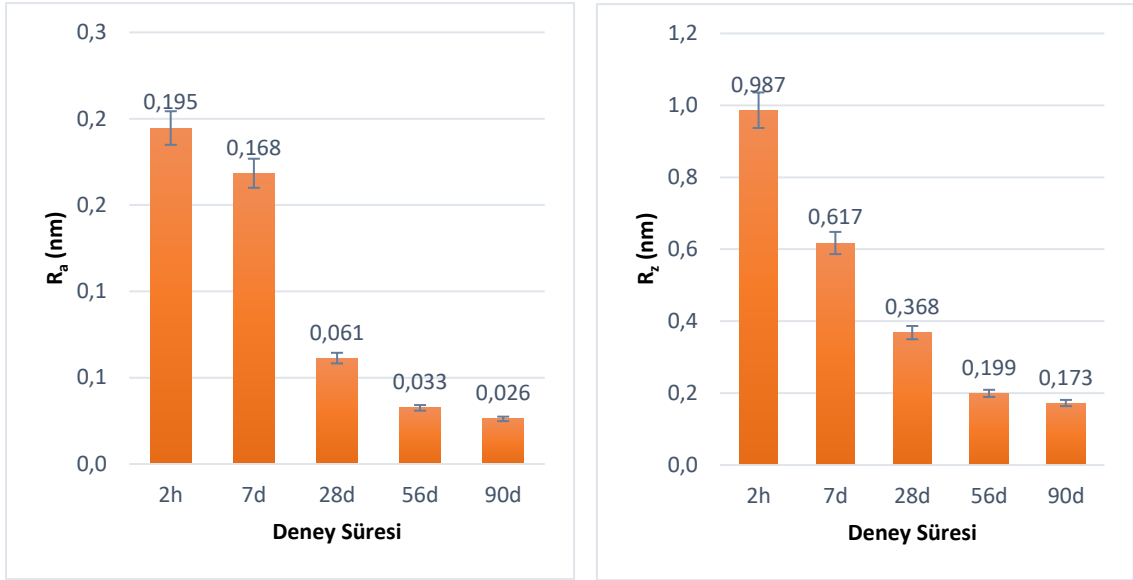
Şekil 3.56’da OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.57’de 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değeri 2h sonunda 0,866 nm iken ani bir azalma ile 7 gün sonunda 0,247 nm olduğu görülmektedir. Ayrıca 56 ile 90 gün sonunda elde edilen pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın olduğu ve 90 gün sonunda bu değer 0,030 nm’ye düştüğü görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin kademeli olarak azaldığı ve 90 gün sonunda en düşük pürüzlülük değerini elde edildiği gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

#### 3.1.6.5. Kafein İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri

Kafein ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.58 ve Şekil 3.59’da gösterilmiştir.



Şekil 3.58. Kafein ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait OP analizleri.

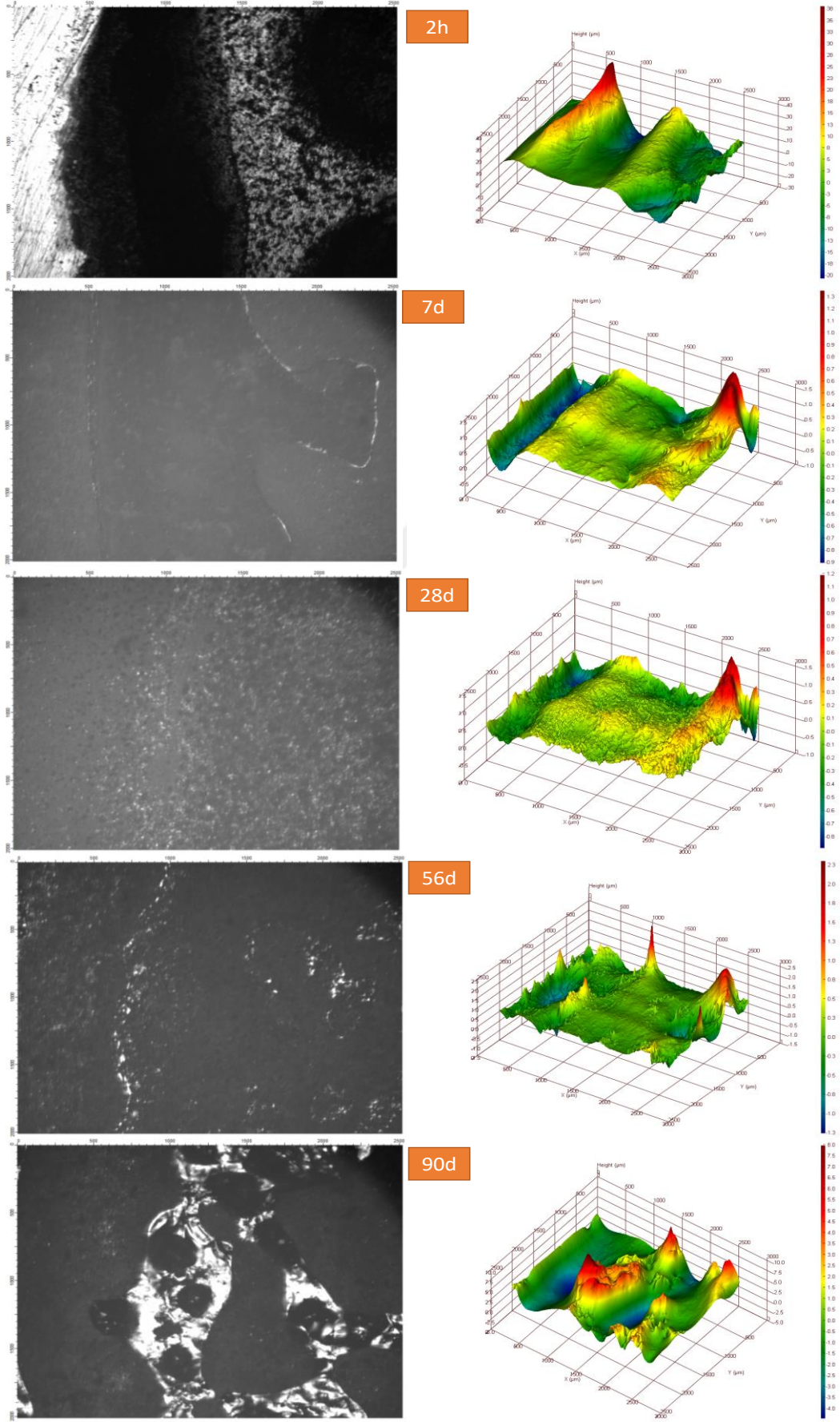


Şekil 3.59. Kafein ilaveli karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

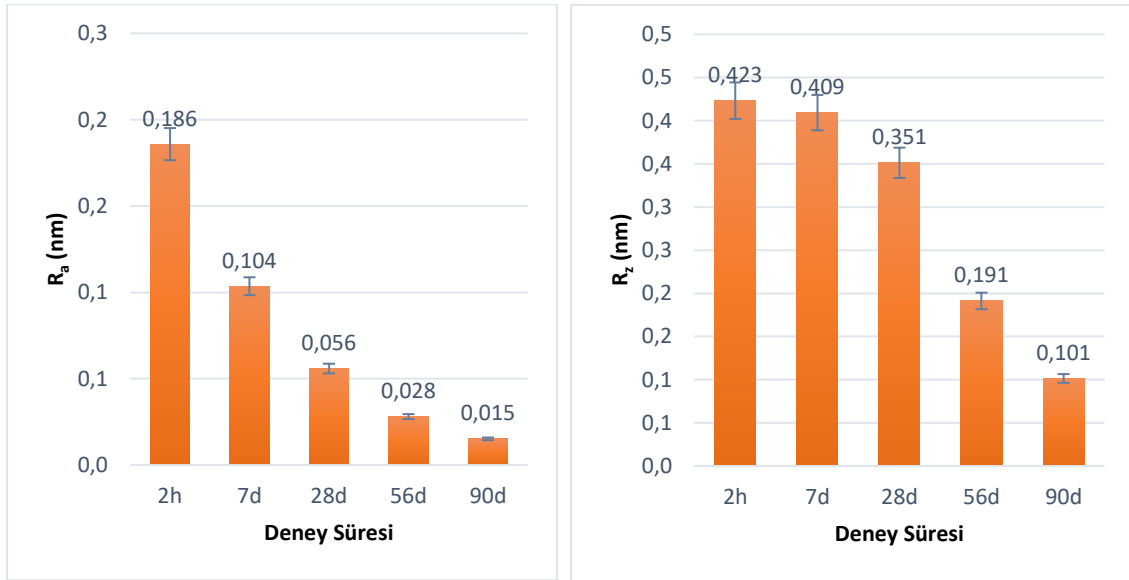
Şekil 3.58’de OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.59’da 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde 2h sonunda 0,195 nm olarak ölçülen  $R_a$  değerinin 7 gün sonunda ani bir şekilde azaldığı ve 90 gün sonunda 0,026 nm ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir.  $R_z$  değerlerinde de kademeli olarak azalma ve 90 gün sonunda 0,173 nm ile en düşük pürüzlülük değerinin elde edildiği gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

#### 3.1.6.6. L-arjinin İlaveli Karışım Suyunda Elde Edilen OP Analizleri

L-arjinin ilaveli karışım suyuna 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle maruz bırakılan donatı çeliğine ait OP analiz sonuçları Şekil 3.60 ve Şekil 3.61’de gösterilmiştir.



Şekil 3.60. L-arjinin ilaveli karışım suyunda donatı çeliğine ait OP analizleri.



Şekil 3.61. L-arjinin ilaveli karışım suyunda OP analizi sonucu elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri.

Şekil 3.60'ta OP analizinden elde edilen 3D grafikler yer almaktadır. Şekil 3.61'de 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süreyle çözelti ortamına maruz bırakılan metal yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilde  $R_a$  değerinin 0,186 nm'den 0,015 nm'ye düştüğü görülmektedir.  $R_z$  değerlerinin de benzer şekilde azalarak en düşük değerin 90 gün sonunda 0,101 nm olarak ölçüldüğü gözlenmiştir.  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin 90 gün sonunda en düşük değere sahip olması bekleme süresinin metal yüzeyinde pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir.

## 3.2. YÖNTEMLERDEN ELDE EDİLEN VERİLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

### 3.2.1. EIS Sonuçlarının Kıyaslanması

Bu bölümde inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında elde edilen EIS verileri birbirleriyle kıyaslanmış ve sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan korozyon inhibitörlerinin yüzde (%) olarak inhibisyon verimliliği ( $IE$ ) Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\%IE = 1 - \frac{R_{total}^0}{R_{total}} \times 100 \quad (3.2)$$

2h, 7d, 28d, 56d ve 90d süre ile inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu çözeltisine maruz bırakılan donatı çeliğinin EIS sonuçları Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu ortamında elde edilen EIS değerleri.

EIS	Boşluk Suyu	Boşluk Suyu + Kafein		Boşluk Suyu + L-arjinin	
		<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %
2h	147700	228816	35,45	244440	39,58
7d	177500	318690	44,30	297046	40,24
28d	244290	371945	34,32	334940	27,06
56d	247230	411295	39,89	487450	49,28
90d	272020	469172	42,02	490480	44,54

Çizelge incelendiğinde her iki inhibitör ilavesi ile de elde edilen toplam *R* değerlerinin arttığı görülmektedir. 2 saat sonunda boşluk suyu ortamında elde edilen *R* değeri kafein ilaveli boşluk suyu ortamında elde edilen değerle kıyaslandığında %*IE* değerinin yaklaşık %35; L-arjinin ilavesi ile yaklaşık %39 olduğu görülmektedir. 7 ve 28 gün sonunda kafein ilavesi ile %*IE* değerinin L-arjinin ilaveli ortama kıyasla daha yüksek olduğu; 56 ve 90 gün sonunda %*IE* değerinin ise L-arjinin ilaveli ortamda daha yüksek olduğu görülmektedir. Kafeni ilaveli boşluk suyu ortamında 7 gün sonunda elde edilen %*IE* değerinin L-arjinin ilaveli ortamda 90 gün sonunda elde edilen %*IE* değerine yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kafein ilavesi ile en yüksek %*IE* değerinin 7 gün; L-arjinin ilavesi ile 56 gün sonunda elde edildiği görülmektedir. Genel olarak *R* değerleri kıyaslanılacak olursa 90 gün sonunda inhibitör ilavesi ile *R* değerlerinin arttığı ve L-arjinin ilavesi ile en büyük değerin elde edildiği görülmektedir.

Karışım suyuna ilave edilen kafein ve L-arjinin donatı korozyonuna etkisinin araştırılması için uygulanan EIS yöntemi sonrası elde edilen *R* ve %*IE* değerleri Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen EIS değerleri.

EIS Süre	Karışım Suyu	Karışım Suyu + Kafein		Karışım Suyu + L-arjinin	
	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %
2h	1295	2070	37,44	2126	39,09
7d	1762	3014	41,54	3220	45,28
28d	2001	3393	41,03	3444	41,90
56d	2313	3645	36,54	3796	39,07
90d	3361	4275	21,38	4466	24,74

2 saat sonunda karışım suyu ortamında elde edilen *R* değeri kafein ilaveli karışım suyu ortamında elde edilen değerle kıyaslandığında %*IE* değerinin yaklaşık %37; L-arjinin ilavesi ile yaklaşık %39 olduğu görülmektedir. Her iki inhibitör için maksimum inhibitör etkinliğinin 7 gün sonunda elde edildiği, maruz kalma süresi arttıkça *R* değerleri artmasına rağmen inhibitör etkinliklerinin azaldığı görülmektedir. Genel olarak L-arjinin molekülünün inhibitör etkinliğinin uygulanan tüm deney sürelerinde kafeine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kullanılan inhibitörler, karışım suyunun pH değerlerini arttırarak yüzeyde pasif filmin oluşmasına katkı sağlamıştır.

Donatı çeliğinin, karışım suyu ortamına nazaran daha alkali ortam olan boşluk suyu çözeltisinde yüksek korozyon direncine sahip olduğu görülmektedir.

### 3.2.2. DEIS Sonuçlarının Kıyaslanması

DEIS yöntemi anlık ve dinamik sonuçlar verdiği için günümüzde korozyon araştırmaları için kullanılan en uygun yöntemlerden biridir. Bu yöntem kullanılarak inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında elde edilen veriler birbirleriyle kıyaslanarak genel olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.21'de inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu çözeltisine maruz bırakılan donatı çeliğinin DEIS yöntemi ile elde edilen sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.21. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde elde edilen DEIS değerleri.

DEIS	Boşluk Suyu	Boşluk Suyu + Kafein		Boşluk Suyu + L-arjinin	
	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %
2h	12723	15836	19,66	16780	24,18
7d	16931	21236	20,27	26188	35,35
28d	21982	27626	20,43	29298	24,97
56d	22982	32370	29,00	39954	42,48
90d	25272	38908	35,05	42531	40,58

Çizelge 3.21 incelendiğinde ortama ilave edilen inhibitörlerin zamanla donatı çeliğinin korozyon direncini arttırdığı görülmektedir. Her iki inhibitör ilavesi sonucunda donatı çeliğine ait en yüksek *R* değerlerinin 90 gün bekleme süresi sonunda elde edildiği görülmektedir. Boşluk suyu ortamına kafein ilave edildiğinde inhibitör etkinliğinin (%*IE*) 2 saat, 7 ve 28 gün sonunda yaklaşık %20 olduğu ve 90 gün sonunda en büyük değere sahip olduğu gözlenmektedir. L-arjinin ilavesi ile 2 saat ve 28 gün sonunda elde edilen inhibisyon etkisinin hemen hemen aynı olduğu; en yüksek inhibitör etkinliğinin ise 56 gün sonunda elde edildiği görülmektedir. DEIS yöntemi ile inhibitörlü ve inhibitörsüz karışım suyu ortamında elde edilen donatı çeliğine ait korozyon direnci ve yüzde inhibisyon etkinliği değerleri Çizelge 3.22’de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen DEIS değerleri.

DEIS	Karışım Suyu	Karışım Suyu + Kafein		Karışım Suyu + L-arjinin	
	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %	<i>R</i> ( $\Omega.cm^2$ )	<i>IE</i> %
2h	1208	2790	56,70	3337	63,80
7d	1406	3374	58,33	4162	66,22
28d	1991	3557	44,03	4263	53,30
56d	2387	3973	39,92	4609	48,21
90d	3244	4227	23,26	5002	35,15

Çizelgede yer alan veriler incelendiğinde, donatı çeliğine ait  $R$  değerlerinin kafein ve L-arjinin ilaveli ortamlarda karışım suyu ortamına oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Her ortam için elde edilen  $R$  değerlerinin bekleme süresine paralel olarak arttığı ve 90 gün sonunda en yüksek korozyon direnci değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir. Kullanılan her iki inhibitör için hesaplanan  $\%IE$  değerlerinin 7 gün sonunda en yüksek değere sahip olduğu ve bekleme süresinin artışı ile inhibisyon yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. Uygulanan tüm zamanlar için elde edilen inhibitör etkinlikleri incelendiğinde karışım suyuna ilave edilen L-arjininin kafeine kıyasla inhibitör etkinliğinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

EIS yöntemiyle benzer şekilde donatı çeliğinin, boşluk suyu çözeltisinde karışım suyuna oranla daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu ve L-arjinin molekülünün inhibitör etkinliğinin kafeine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.3. TP Sonuçlarının Kıyaslanması

İnhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında elde edilen EIS ve DEIS sonuçlarını başka bir elektrokimyasal teknikle desteklemek amacıyla yapılan TP sonuçları bu başlık altında genel olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.23'te inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu çözeltisinde donatı çeliğine ait korozyon akımı ve inhibitör etkinlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.23. Kafein ve L-arjinin ilaveli boşluk suyu çözeltisinde elde edilen TP değerleri.

TP	Boşluk Suyu		Boşluk Suyu + Kafein		Boşluk Suyu + L-arjinin	
	$I_{kor}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$I_{kor}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$IE$ %	$I_{kor}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$IE$ %	
2h	283	162	42,76	143	49,47	
7d	212	135	36,32	110	48,11	
28d	185	121	34,59	98	47,03	
56d	124	94	24,19	76	38,71	
90d	95	84	11,58	60	36,84	

Çizelge incelendiğinde boşluk suyuna ilave edilen inhibitörlerin  $I_{kor}$  değerlerini azaltıcı yönde etki yaptığı görülmektedir. Her iki inhibitör ilavesi ile bekleme süresi arttıkça

hesaplanan %IE değerlerinin azaldığı görülmüştür. 90 gün sonunda kafein ilavesi ile elde edilen %IE değerinin %12; L-arjinin ilavesiyle ise %37 olduğu belirlenmiştir. Diğer yöntemlerle tutarlı olarak kafeine kıyasla L-arjininin korozyon hızını azaltıcı etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.24'te inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyunda donatı çeliğine ait korozyon akımı ve inhibitör etkinlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.24. Kafein ve L-arjinin ilaveli karışım suyunda elde edilen TP değerleri.

TP	Karışım Suyu	Karışım Suyu + Kafein		Karışım Suyu + L-arjinin	
	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	IE %	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	IE %
2h	38	32	15,79	30	21,05
7d	31	29	6,45	25	19,35
28d	28	23	17,86	22	21,43
56d	24	19	20,83	16	33,33
90d	16	12	25,00	9	43,75

Çizelge incelendiğinde karışım suyuna ilave edilen inhibitörlerin  $I_{kor}$  değerlerini azaltıcı yönde etki yaptığı görülmektedir. Her iki inhibitör ilavesi ile hesaplanan %IE değerlerinin 7 gün sonunda azaldığı daha sonra zamanla artarak en yüksek 90 gün sonunda elde edildiği görülmüştür. 90 gün sonunda kafein ilavesi ile elde edilen %IE değerinin %25; L-arjinin ilavesiyle ise %44 olduğu belirlenmiştir. Diğer yöntemlerle tutarlı olarak kafeine kıyasla L-arjininin korozyon hızını azaltıcı etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

#### 3.2.4. SEM-EDS Sonuçlarının Kıyaslanması

Elektrokimyasal korozyon yöntemlerinden sonra metallerin yüzey morfolojileri hakkında bilgi almak amacıyla inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan karışım suyu ve boşluk suyu ortamlarında yapılan SEM-EDS analizleri bu başlık altında kıyaslanmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde boşluk suyu ve karışım suyuna ilave edilen her iki inhibitörün de metal yüzeyine adsorblandığı ve pürüzlülüğü önemli oranda azaltarak donatı çeliğinin yüzeyini kapladığı görülmektedir.

EDS spektrumlarında kafein ve L-arjinin yapılarında bulunan N elementinin her iki

ortamda da görülmesi inhibitörlerin donatı çeliğinin yüzeyine adsorblandığını göstermektedir. Ayrıca, boşluk suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin inhibitörlerinin Fe ve O yüzdelerinde önemli ölçüde değişime neden olmadığı görülmektedir. Ancak karışım suyu ortamında kafein ve L-arjinin ilavesi ile Fe yüzdelerinde yükselme meydana gelirken O yüzdelerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum karışım suyu ortamına ilave edilen inhibitörlerin metal yüzeyini daha iyi korunduğunu göstermektedir.

### 3.2.5. AFM Sonuçlarının Kıyaslanması

AFM, nano-mikro ölçekte inhibitör film oluşumunu araştırmak için iyi bilinen en önemli araçlardan biridir. AFM analizi, metallerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve malzemenin üç boyutlu yüzey morfolojisini görüntülemek için kullanılan yöntemdir. Boşluk suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan AFM yöntemi sonuçları Çizelge 3.25'te verilmiştir.

Çizelge 3.25. İnhibitör ilaveli boşluk suyu ortamlarında AFM sonuçlarının kıyaslanması.

AFM Zaman	Boşluk Suyu		Boşluk Suyu + Kafein		Boşluk Suyu + L-arjinin	
	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)
2 h	113,10	294,10	69,25	199,74	51,75	138,21
7 d	102,61	175,90	43,52	142,22	38,71	84,61
28 d	22,12	79,30	19,35	75,84	14,58	56,80
56 d	16,71	76,35	6,75	30,25	4,63	30,77
90 d	5,99	28,97	4,45	24,81	3,61	21,18

Çizelgede yer alan pürüzlülük değerleri incelendiğinde boşluk suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerini azalttığı görülmektedir. Örneğin 2 saat sonunda boşluk suyu ortamında  $R_a$  değeri 113,10 nm;  $R_z$  değeri 294,10 nm iken; kafein ilavesi ile  $R_a$  değeri 69,25 nm;  $R_z$  değeri 199,74 nm; L-arjinin ilavesi ile  $R_a$  değeri 51,75 nm,  $R_z$  değeri ise 138,21 nm olarak belirlenmiştir. 90 gün sonunda da benzer şekilde boşluk suyu ortamında  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin inhibitör etkisiyle azaldığı ve bu sonuçların

korozyon deneyleri ile tutarlı olduğu görülmektedir.

Karışım suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan AFM yöntemi sonuçları Çizelge 3.26'da verilmiştir.

Çizelge 3.26. İnhibitör ilaveli karışım suyunda AFM sonuçlarının kıyaslanması.

AFM Zaman	Karışım Suyu		Karışım Suyu + Kafein		Karışım Suyu + L-arjinin	
	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)
2 h	67,86	256,01	60,82	234,84	46,86	212,38
7 d	43,06	197,87	40,61	187,67	37,70	157,36
28 d	37,18	150,45	33,04	135,10	30,80	133,29
56 d	34,17	125,44	28,32	97,93	20,14	97,92
90 d	31,15	123,81	20,06	88,46	14,23	58,28

Çizelgede yer alan pürüzlülük değerleri incelendiğinde boşluk suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerini azalttığı görülmektedir. Örneğin 2 saat sonunda boşluk suyu ortamında  $R_a$  değeri 67,86 nm;  $R_z$  değeri 256,01 nm iken; kafein ilavesi ile  $R_a$  değeri 60,82 nm;  $R_z$  değeri 234,84 nm; L-arjinin ilavesi ile  $R_a$  değeri 46,86 nm,  $R_z$  değeri ise 212,38 nm olarak belirlenmiştir. 90 gün sonunda da benzer şekilde boşluk suyu ortamında  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerinin inhibitör etkisiyle azaldığı ve bu sonuçların korozyon deneyleri ile tutarlı olduğu görülmektedir.

### 3.2.6. OP Sonuçlarının Kıyaslanması

OP analizleri, yüzey topografyasını, yüzey pürüzlülüğünü ve 3D görüntülemeyi karakterize etmek için kullanılan temassız, tahribatsız bir yöntemdir. Boşluk suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan OP yöntemi sonuçları Çizelge 3.27'de verilmiştir.

Çizelge 3.27. İnhibitör ilaveli boşluk suyu ortamlarında OP sonuçlarının kıyaslanması.

OP	Boşluk Suyu		Boşluk Suyu + Kafein		Boşluk Suyu + L-arjinin	
	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)
<b>2 h</b>	0,698	0,980	0,473	0,932	0,236	0,584
<b>7 d</b>	0,224	0,953	0,215	0,753	0,213	0,143
<b>28 d</b>	0,196	0,401	0,189	0,364	0,188	0,136
<b>56 d</b>	0,194	0,306	0,178	0,117	0,174	0,114
<b>90 d</b>	0,160	0,145	0,118	0,113	0,059	0,101

Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin AFM yöntemi ile benzer şekilde boşluk suyu ortamına ilave edilen inhibitörlerin  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerini azaltıcı yönde etki ettiği görülmektedir. 2 saat sonunda boşluk suyu ortamında elde edilen  $R_a$  değerinin 0,689 nm ve  $R_z$  değerinin 0,980 nm; kafein ilavesi ile  $R_a$  değerinin 0,473 nm ve  $R_z$  değerinin 0,932 nm; L-arjinin ilavesi ile  $R_a$  değerinin 0,236 nm ve  $R_z$  değerinin 0,584 nm olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalmasının yüzeyde meydana gelen pasif filmle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Karışım suyu ortamına ilave edilen kafein ve L-arjinin moleküllerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan OP yöntemi sonuçları Çizelge 3.28’de verilmiştir.

Çizelge 3.28. İnhibitör ilaveli karışım suyunda OP sonuçlarının kıyaslanması.

OP	Karışım Suyu		Karışım Suyu + Kafein		Karışım Suyu + L-arjinin	
	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_z$ (nm)
<b>2 h</b>	0,866	1,020	0,195	0,987	0,186	0,423
<b>7 d</b>	0,247	0,863	0,168	0,617	0,104	0,409
<b>28 d</b>	0,097	0,526	0,061	0,368	0,056	0,351
<b>56 d</b>	0,039	0,201	0,033	0,199	0,028	0,191
<b>90 d</b>	0,030	0,185	0,026	0,173	0,015	0,101

Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin AFM yöntemi ile benzer şekilde karışım suyu ortamına ilave edilen inhibitörlerin  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerini azaltıcı yönde etki ettiği görülmektedir. 2 saat sonunda boşluk suyu ortamında elde edilen  $R_a$  değerinin 0,866 nm ve  $R_z$  değerinin 1,020 nm; kafein ilavesi ile  $R_a$  değerinin 0,195 nm ve  $R_z$  değerinin 0,987 nm; L-arjinin ilavesi ile  $R_a$  değerinin 0,186 nm ve  $R_z$  değerinin 0,423 nm olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalmasının yüzeyde meydana gelen pasif filmle ilişkili olduğu düşünülmektedir. OP analizleri ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü verilerinin AFM sonuçları ile benzer olduğu görülmektedir.

### 3.3. ÇİMENTO NUMUNELERİNE UYGULANAN ANALİZ VE DENEYLER

Kullanılan iki inhibitörün donatı çeliğinin korozyon hızını azaltıcı etkiye sahip olduğu yapılan elektrokimyasal ve yüzey morfolojisi teknikleri ile belirlenmiştir. Kullanılan inhibitörler (kafein ve L-arjinin), çimentoya katkı maddesi olarak ilave edilmiş ve çimento hidratasyonu üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla standart çimento deneylerinin yanı sıra XRD, FT-IR, termal analiz, SEM-EDS analizleri uygulanmıştır.

#### 3.3.1. Fiziksel Analizler

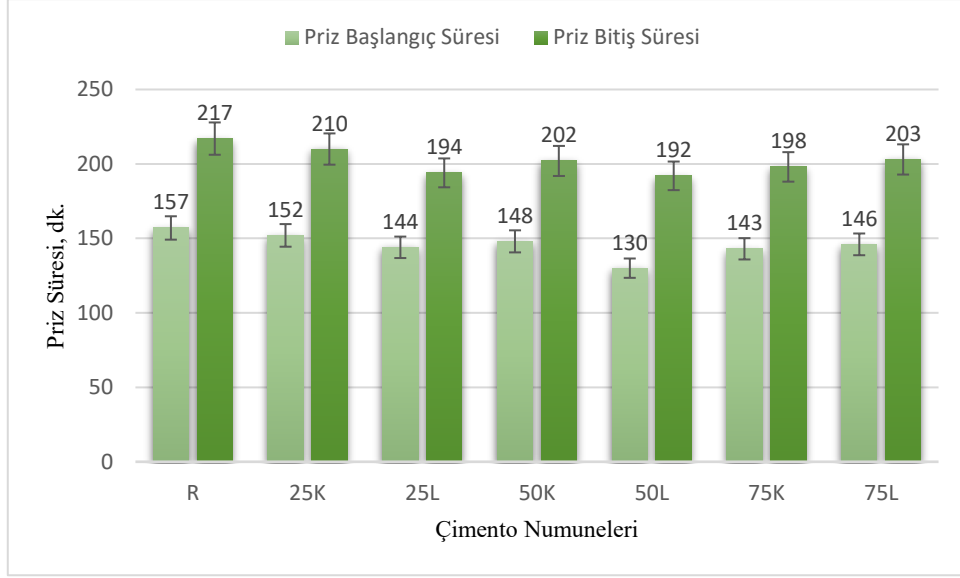
Çalışmada kullanılan Portland çimentosuna ait fiziksel özellikler Çizelge 3.29'da verilmiştir.

Çizelge 3.29. Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.

Özgül Yüzey Alanı, cm <sup>2</sup> /g	Özgül Ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	45 µm elek üzerinde kalıntı, %
3893	3,16	5,60

#### 3.3.2. Standart Çimento Deneyleri

Su ihtiyacı, standart kıvamda bir macun hazırlamak için gereken su miktarıdır. Su talebi kimyasal bileşimin, Blaine ve çimentoların gözenekliliğinin değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada 125-150 g su ilave edilmiştir. Referans ve inhibitör ilaveli çimento hamurlarının su ihtiyacı %29,4 olarak belirlenmiştir. 25 ppm, 50 ppm ve 75 ppm oranında inhibitör ilaveleri ile hazırlanan çimento numuneleri, kafein ilavesi için 25K, 50K ve 75K; L-arjinin ilavesi için 25L, 50L ve 75L olarak adlandırılmıştır. Kafein ve L-arjinin ilaveli çimento hamurlarına ait priz başlama ve bitiş süreleri Şekil 3.62'de gösterilmiştir [114].

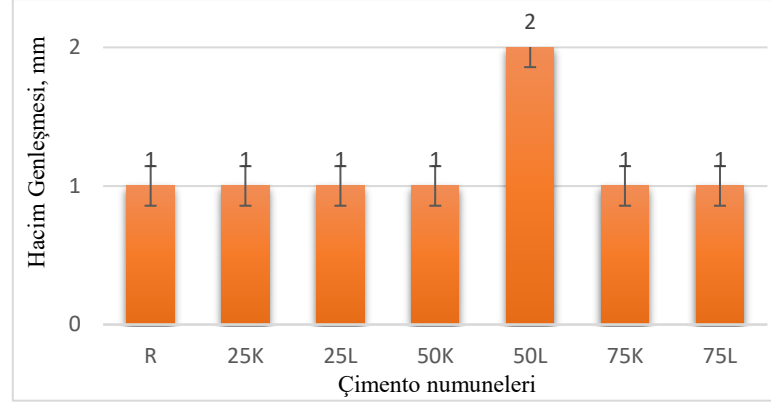


Şekil 3.62. Çimento hamurlarına ait priz başlangıç ve bitiş süreleri.

Şekil 3.62’de kafein ve L-arjinin ilave edilen numunelerle referans numuneye ait priz süreleri kıyaslandığında başlangıç ve son priz sürelerinin azaldığı görülmektedir. Priz başlangıç süresinde meydana gelen azalmanın saf çimentoya kıyasla 25K-50K-75K hamur numuneleri için sırasıyla %3,2, %5,7 ve %8,9; 25L-50L-75L hamur numuneleri için sırasıyla %8,28, %17,2 ve %7 oranında olduğu; priz sonu süresindeki azalmanın ise sırasıyla %3,2, %6,9, %8,8, %10,6, %11,52 ve %6,45 oranında olduğu hesaplanmıştır.

En kısa priz başlangıç ve priz sonu süresinin sırasıyla 130 ve 192 dakika ile 50L numunesine ait olduğu gözlenmektedir. Elde edilen priz süresi değerlerinin TS EN 197-1’de [115] öngörülen sınır değerler aralığında olması taze betonun taşınmasında ve yerleştirilmesinde zorluklarla karşılaşmayacağı ve istenilen sürede mukavemet sağlanabileceği anlamına gelmektedir [116], [117].

Çimentodaki fazla miktarda CaO, MgO ve SO<sub>3</sub> bulunması çimento hamurunun genişmesine neden olmakta ve bunun sonucunda betonda çatlaklar ve hasarlar meydana gelmektedir [118], [119]. Çimento kaynaklı meydana gelebilecek olan hacim genişmelerinin belirlenmesi amacıyla Le Chatelier (genleşme) deneyleri uygulanmıştır (Şekil 3.63).

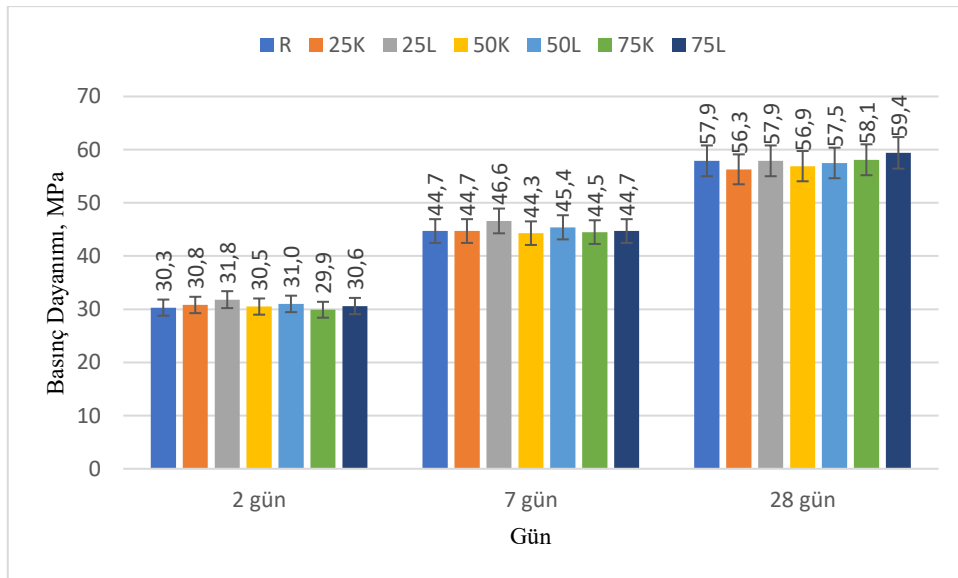


Şekil 3.63. Çimento hamurlarına ait genleşme miktarları.

Le Chatelier testi sonucunda elde edilen değerler, çimento hacmi genleşme değerlerinin 50L numunesinde 2 mm, diğerlerinde ise 1 mm olduğunu göstermiştir. Elde edilen tüm değerlerin TS EN 196-3'te belirtilen eşik değerin (10 mm) altında olduğu görülmektedir [114].

### 3.3.3. Çimento Basınç Dayanımı Deneyi

İnhibitörler betonarme yapılarda korozyonu önlemek amacıyla çimento harcına katılmaktadır. Ancak kullanılan inhibitörlerin çimento hidratasyonuna ve basınç dayanımına etkisi tam olarak bilinmemektedir. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan çimento harç numunelerinin basınç dayanımı deneyleri TS-EN 196-1'e göre yapılmıştır [2]. Kafein ve L-arjinin 2, 7, 28 günlük çimento harç numunelerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.64'te gösterilmiştir.



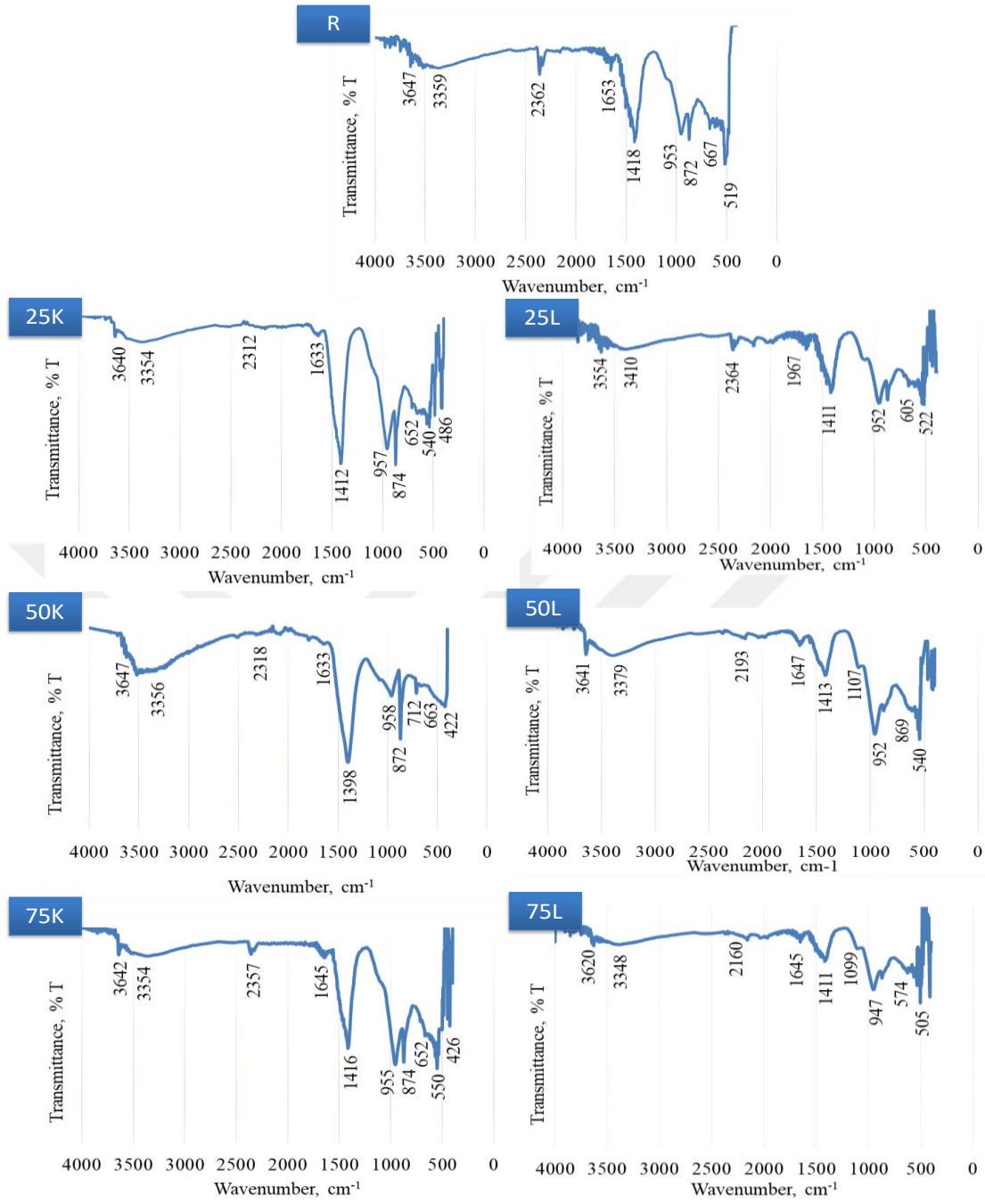
Şekil 3.64. Çimento harç numunelerine ait basınç dayanımı değerleri.

Şekil 3.64'te yer alan grafik incelendiğinde 2 gün sonunda elde edilen basınç dayanımı değerleri referans numune ile kıyaslandığında 25K numunesi için %1,7; 25L için %5; 50K için %0,7; 50L için %2,3; 75L için %1 oranında artış meydana geldiği ancak 75K numunesi için %1,3 oranında azalma olduğu görülmüştür. 7 gün sonunda 25K ve 75L numunelerinin basınç dayanımı değerlerinde değişimin olmadığı, 50K numunesi için %0,9; 75K numunesi için %0,4 oranında azalma meydana geldiği ancak 25L numunesi için %4,3 oranında; 50L numunesi için %1,6 oranında artışın meydana geldiği gözlenmiştir. 28 gün sonunda elde edilen basınç dayanımı değerleri referans numune ile kıyaslandığında 25K numunesi için %2,8 oranında; 50K için %1,7 oranında ve 50L için %0,7 oranında azalma olduğu; 25L numunesi için değişimin olmadığı, 75K numunesi için %0,3 oranında ve 75L için %2,6 oranında artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, referans numuneye kıyasla L-arjininin ve kafeinin (75K hariç) erken mukavemeti nispeten arttırdığı belirlenmiştir. Buna ek olarak nihai süre sonunda (28. gün) en yüksek basınç dayanımı değerlerinin her iki inhibitörden 75 ppm ilave edilerek hazırlanan numunelere ait olduğu tespit edilmiştir.

#### **3.3.4. FT-IR Analizi**

Tanecikte yer alan molekül gruplarını belirlemek amacıyla inhibitör katkılı numunelere FT-IR analizleri yapılmıştır. 28. günün sonunda referans ve inhibitör ilaveli çimento numunelerinin FT-IR ile incelenen hidrasyon gelişimleri Şekil 3.65'te gösterilmektedir.



Şekil 3.65. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait FT-IR spektrumları.

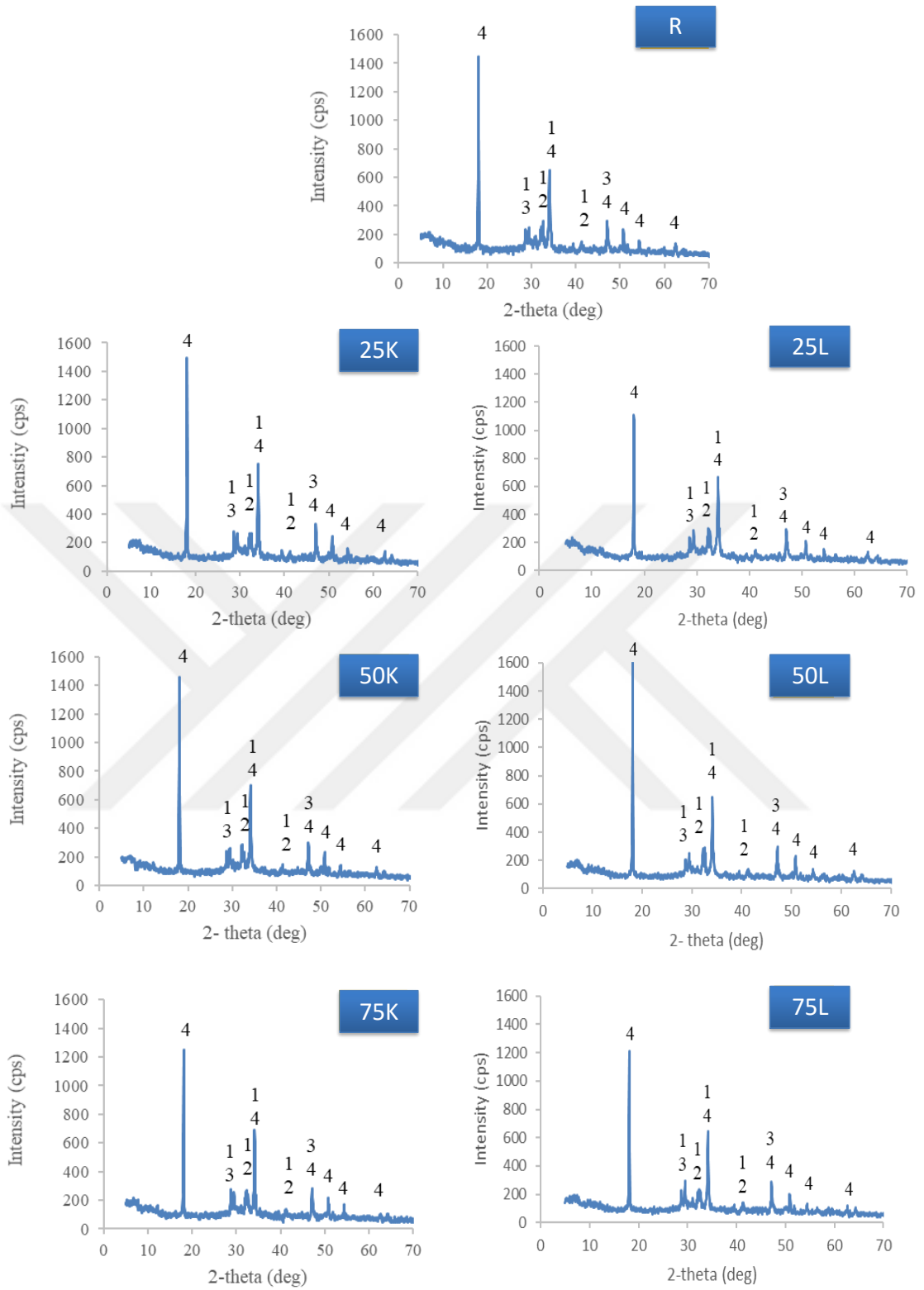
C-S-H jelinin yapısı, farklı moleküler yapılar karşılık gelen değişken bir Ca/Si oranı ile çok karmaşıktır. Hidratlı çimento hamurlarında, C-S-H jelleri FT-IR bantlarında  $947-958\text{ cm}^{-1}$  (Si-O gerilme titreşimleri),  $605-667\text{ cm}^{-1}$  (Si-O-Si bükülme titreşimi) ve  $422-540\text{ cm}^{-1}$  olarak görünür. Bu orta FT-IR bantları, C-S-H'deki Ca/Si oranı ile frekans ve/veya yoğunlukta sistematik olarak değişir.  $1398-1418\text{ cm}^{-1}$  civarında uzanan C-O,  $\text{CO}_3^{2-}$ 'nin karakteristik bandıdır.  $2800-3700\text{ cm}^{-1}$  dalgadaki geniş emme bandı, hidrasyonun ilerlemesiyle zayıflama eğilimini gösteren  $\text{CaCO}_3$ 'ün varlığını temsil eder.

3300-3429  $\text{cm}^{-1}$ 'de geniş bir bant, yapıya tutunmamış suyun varlığını, 3554-3647  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki bölge ise C-S-H'nin kalsiyum hidroksit bağlarını, bağlanmış ve absorbe edilmiş suyun varlığını göstermektedir [120]-[122]. 75K ve 75L numunelerinde referansa göre 3642 ve 3620  $\text{cm}^{-1}$ 'de daha az yoğun bir portlandit bandı görülmektedir. Bu değişikliğin, inhibitör katkılı numunelerin çimento hidrasyonunda üretilen portlandit ile reaksiyonun bir sonucu olabileceği düşünülmektedir.

25K, 50K ve 75K numunelerine ait FT-IR sonuçları incelendiğinde kafein [123] ve L-arjinin molekülünde bulunan karbonil ( $1700 \text{ cm}^{-1}$ ) grubunun görülmemesinin nedeni  $\text{SiO}_2$  molekülünün bu noktada perdelenmesinden ileri geldiği düşünülmektedir [124]. Ancak  $\sim 1250\text{-}1020 \text{ cm}^{-1}$ 'de görünen -C-N titreşim piki ortamda L-arjininin var olduğunu kanıtlamaktadır.

### **3.3.5. XRD Analizi**

Referans ve inhibitör ilaveli numunelerin 28. gün sonundaki hidrasyon gelişimleri XRD analizi yapılarak belirlenmiş ve Şekil 3.66'da gösterilmiştir.

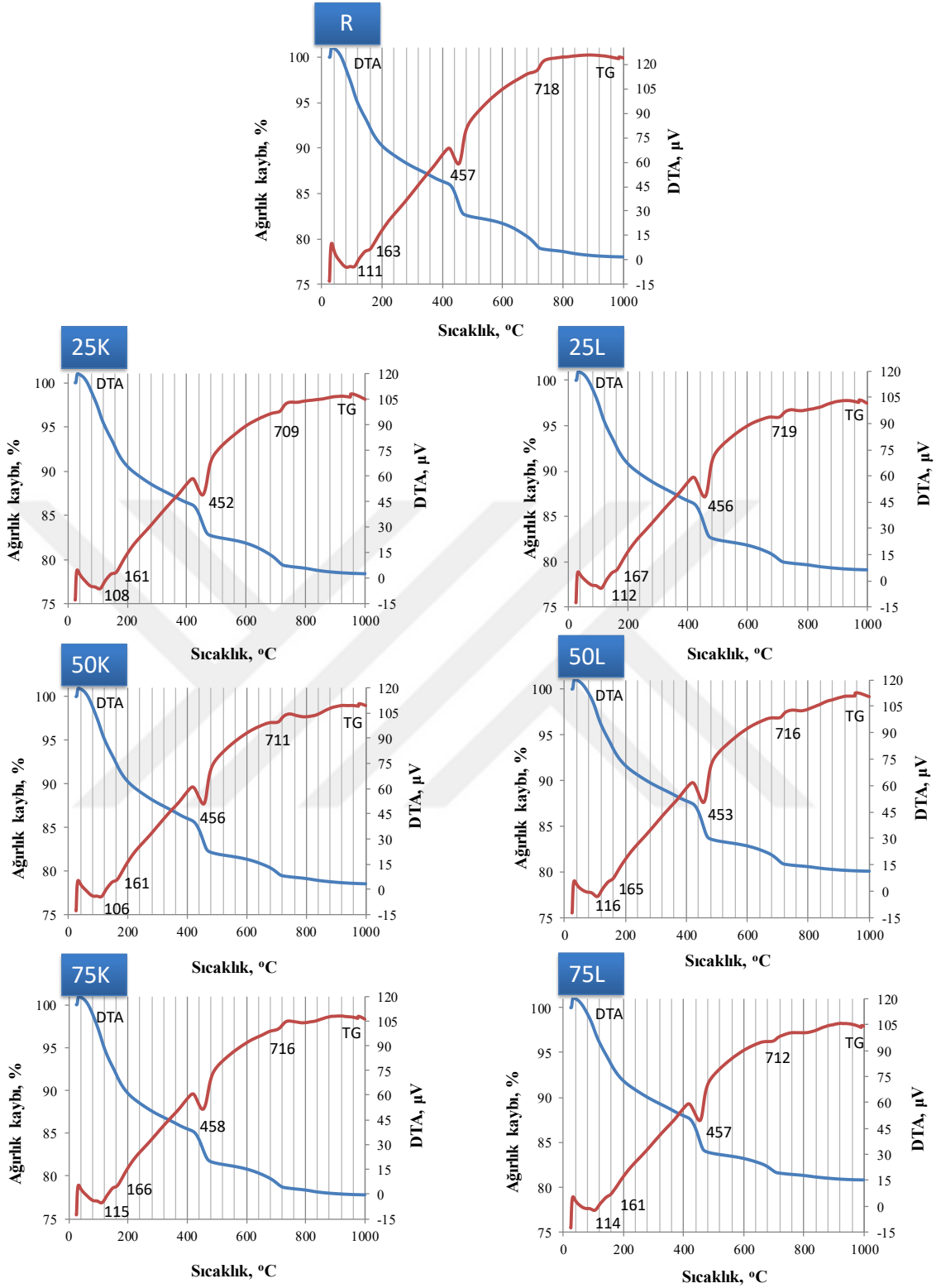


Şekil 3.66. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait XRD analizleri [1:  $C_3S$ -Alit ( $3CaOSiO_3$ ), 2:  $C_2S$ -Belit ( $2CaOSiO_3$ ), 3: Kalsit ( $CaCO_3$ ), 4: CH-Portlandit ( $Ca(OH)_2$ )].

Şekildeki çimento hamurlarının ana ürünlerinin portlandit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ve susuz kalsiyum silikat ( $\text{C}_2\text{S}$  veya  $\text{C}_3\text{S}$ ) olduğu görülmektedir. 28 gün boyunca kürlenmiş çimento hamuru numunelerindeki portlanditi karakterize eden ana pikin, diğer numunelere kıyasla 25L, 75K ve 75L çimento numunelerinde daha az yoğunluğa sahip olduğu gözlenmektedir. C-S-H jeli, kafein ve L-arjinin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile reaksiyonu sonucu oluştuğu düşünülmekte ve bu şekilde kademeli CH tüketimi CS'nin hidrasyonunu indüklemektedir. Dolayısıyla bu durum çimentonun hidrasyon derecesinin gelişmesine neden olmakta ve 25L, 75K ve 75L numunelerinde görüldüğü gibi CS'nin karakteristik pikinin zayıflamasına yol açmaktadır [125]. Ayrıca, kafein ve L-arjininin CH ile reaksiyona girerek çimento basınç dayanımına katkıda bulunduğu düşünülmektedir [126], [127].

### 3.3.6. Termal Analizler

Referans ve inhibitör ilaveli çimento hamurlarının 28. gün sonundaki hidrasyon gelişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiştir (Şekil 3.67).



Şekil 3.67. İnhibitör katkılı çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait DTA-TGA analizleri.

Tüm DTA eğrilerinde tobermorit (C-S-H) jel, portlandit (CH) ve diğer hidrasyon ürünlerinden oluşan üç ana endotermik tepe ve TGA eğrilerinde ağırlık kaybı

gözlenmektedir. Yapısal ve kristal su ile C-S-H ve Aft (trisülfoalüminat) fazlarının farklı aşamalarda dehidrasyonu, 25-200 °C civarında temsil edilirken; CH'nin dehidrasyonu, 400-500 °C sıcaklık aralığında; CaCO<sub>3</sub>'ün ayrışması da yaklaşık 700 °C civarında gelişmektedir [128]-[131]. Ayrıca C-S-H jel, C-H ve diğer hidratlı ürünlerin (kimyasal olarak bağlı su veya buharlaşmayan su içeriği) dehidrasyonu ve ayrışması nedeniyle su kaybı, 105-1000 °C sıcaklık aralığında meydana gelmektedir [132]-[135]. Farklı sıcaklık aralıklarındaki ağırlık kayıpları Çizelge 3.30'da verilmiştir.

Çizelge 3.30. İnhibitör katkılı çimento hamurlarının farklı sıcaklıklardaki ağırlık kaybı.

Numune	25 °C-200 °C	400 °C-500 °C	500 °C-750 °C	105 °C-1000 °C
R	9,74	3,92	3,61	18,30
25K	9,50	3,89	3,32	18,23
50K	9,72	4,07	2,65	18,20
75K	10,36	4,02	2,93	18,73
25L	9,22	4,31	2,58	18,37
50L	8,35	4,35	2,69	17,97
75L	8,14	4,22	2,30	17,08

TG analizi ile hesaplanan 25-200 °C sıcaklık aralığında yapısal ve kristal su ile C-S-H ve Aft fazlarının farklı aşamalarda dehidratasyonu R numunesinde %9,74; 25K'da %9,50; 50K'da %9,72 ve 75K'da %10,36; 25L'de %9,22, 50L'de %8,35, 75L'de %17,08 olarak tespit edilmiştir. C-S-H, C-H ve diğer hidratlı ürünlerin dehidrasyonu nedeniyle su kaybı R'de %18,30; 25K'da %18,23; 50K'da %18,20 ve 75K'da %18,73; 25L'de %18,37; 50L'de %17,97 ve 75L'de %17,08 oranlarında meydana gelmiştir. Ayrıca R kodlu çimento hamuru örneklerinde CH'in ve CaCO<sub>3</sub>'ün ayrışmasından kaynaklanan ağırlık kayıpları R'de %3,61; 25K'da %3,32; 50K'da %2,65 ve 75K'da %2,93; 25L'de %2,58; 50L'de %2,69 ve 75L'de %2,30 olarak tespit edilmiştir [132].

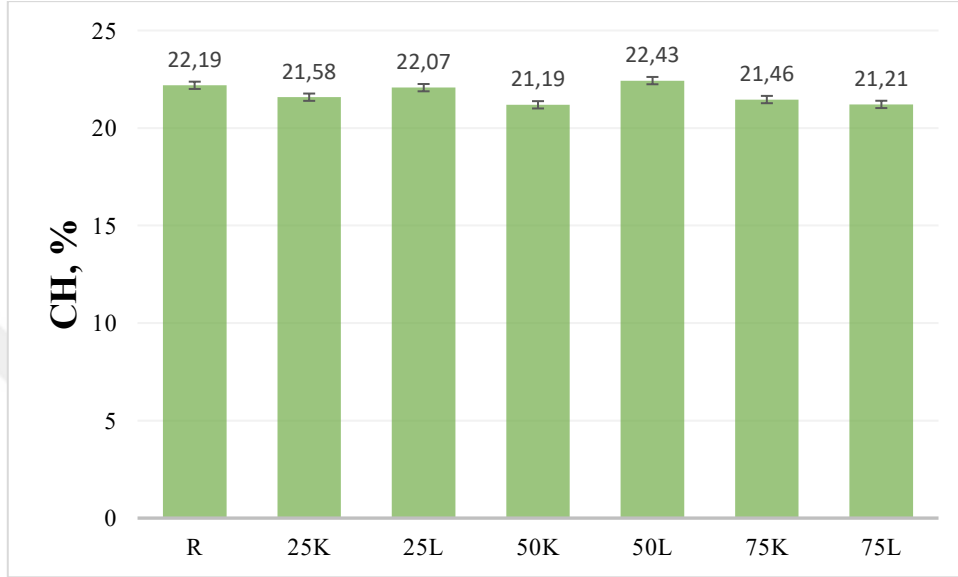
CH'nin tüm içeriği, CH dehidratasyon ve CaCO<sub>3</sub> ayrışımının kütlesi Eşitlik 3.2 kullanarak hesaplanmıştır:

$$CH(\%) = C_1 * \frac{74}{18} + C_2 * \frac{74}{44} \quad (3.2)$$

Formülde C<sub>1</sub>: CH'nin dehidrasyonu ve C<sub>2</sub>: CaCO<sub>3</sub>'ün ayrışmasından kaynaklanan ağırlık

kayıplarını ifade etmektedir. Ayrıca 74: CH, 18: H<sub>2</sub>O ve 44: CO<sub>2</sub>'nin moleküler ağırlığı anlamına gelmektedir [136], [137].

Çizelge 3.14'te R çimento hamuru örnekleri, CH'nin dehidrasyonundan ve CaCO<sub>3</sub>'ün ayrışmasından elde edilen ağırlık kayıplarının sırasıyla %3,92 ve %3,61 olduğu görülmektedir. Denklem ile hesaplanan CH değerleri Şekil 3.68'de verilmiştir.

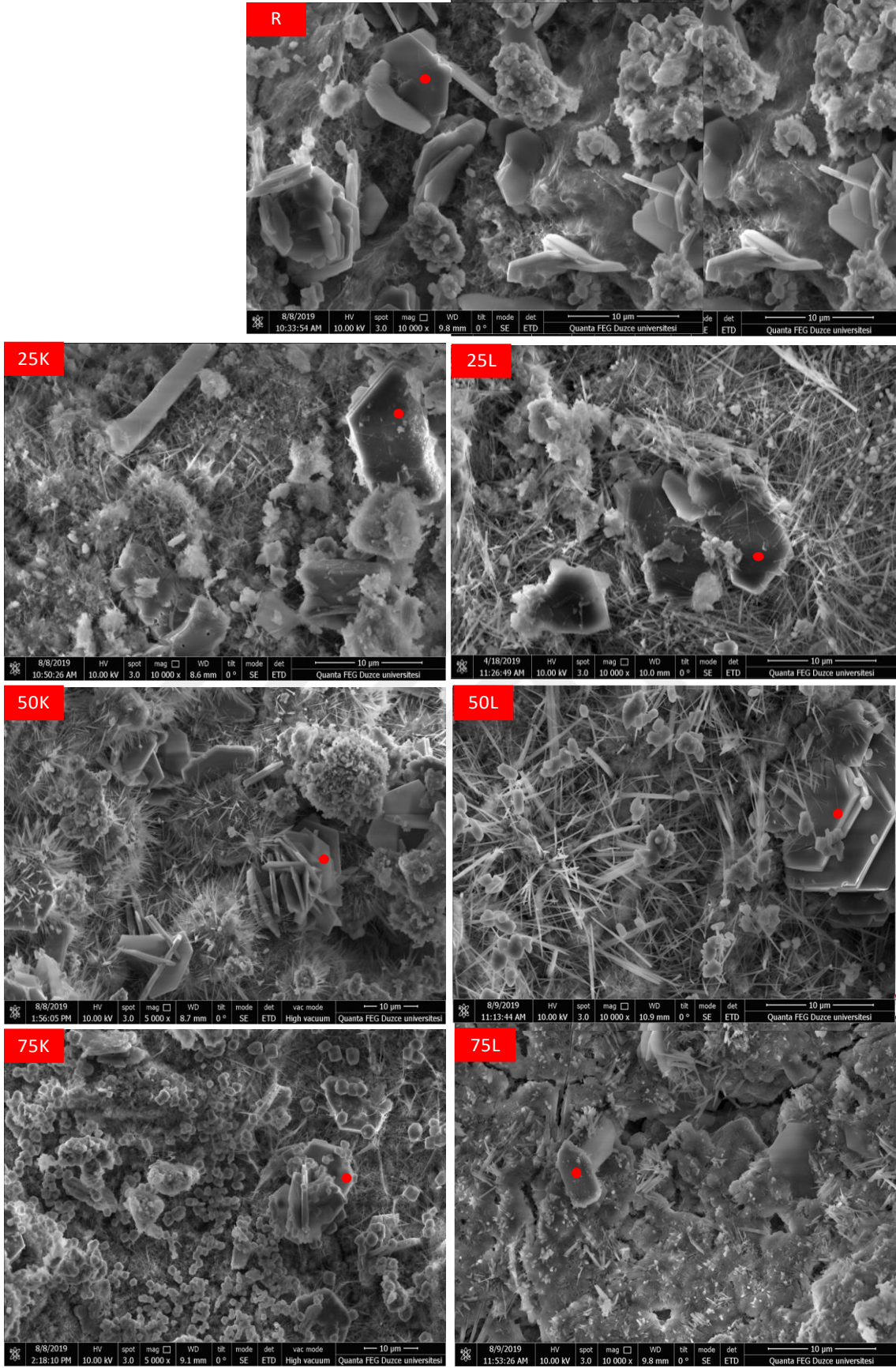


Şekil 3.68. İnhibitör ilaveli hidratlanmış macunların CH içeriği.

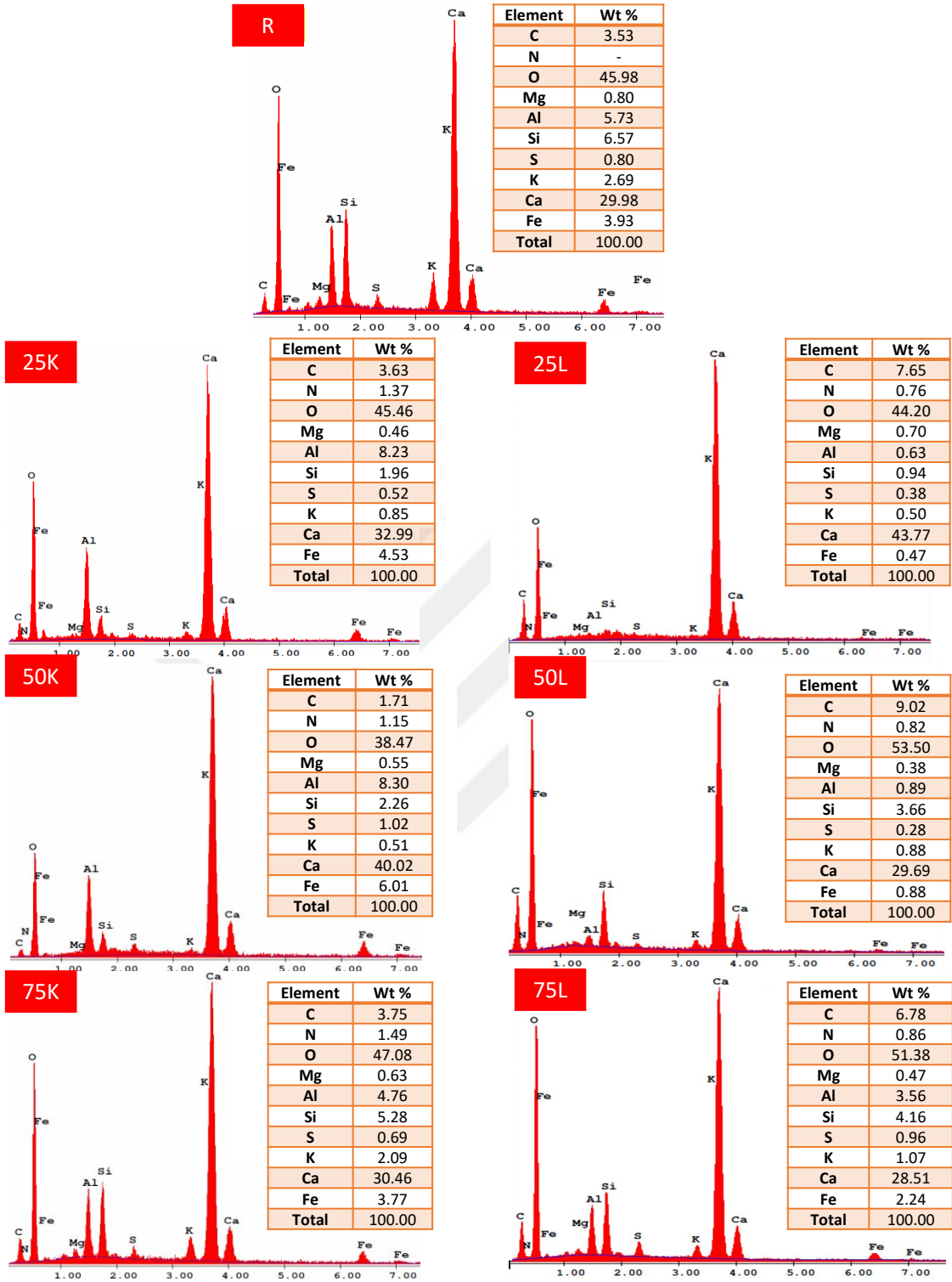
Elde edilen verilere göre denklemden hesaplanan CH içeriği, R'de %22,19; 25K'da %21,58; 50K'da %21,19; 75K'da %21,46; 25L'de %22,07; 50L'de %22,43 ve 75L'de %21,21 oranlarında meydana gelmiştir (Şekil 3.68). Bu sonuçlara göre, referans çimentoya kıyasla kafein ve L-arjinin 50L kodlu hamur hariç tüm karışım oranlarında CH içeriğini azalttığı ve XRD analizleriyle benzer özellikler gösterdiği ifade edilebilir.

### 3.3.7. SEM EDS Analizi

28. günde kafein ve L-arjinin katkılı çimento hamurlarının mikro yapılarının belirlendiği SEM görüntüleri Şekil 3.69'da, EDS analizleri Şekil 3.70'te gösterilmektedir.



Şekil 3.69. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait SEM görüntüleri.



Şekil 3.70. Çimento hamurlarının 28. hidrasyon gününe ait EDS analizleri.

28 gün boyunca kürlenmiş numunelerin mikro yapısal analizlerine göre referans ve inhibitör katkılı hamurların ana yapısının ince yapılı C-S-H fazından oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.69). Bu fazın, çimento yüzeyini kapladığı, şekilde görüldüğü gibi hidrasyon ürünleri arasında bağlantı oluşturduğu ve boşlukları doldurduğu

gözlenmektedir. Parçacıklar arasındaki tüm boşlukları dolduran ve yapıya belirli bir sabitlik kazandıran C-S-H jelinin, R, 75K ve 75L'ye ait macunlarda daha baskın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinde farklı boyutlarda yaklaşık 1-2 µm kalın plaklar yaygın olarak gözlenmiştir. Şekil 3.70'teki EDS analizinde piklerin çoğunlukla Ca ve Si'den oluştuğu görülmektedir. Ayrıca EDS spektrumunda, çimentoya kafein ve L-arjinin ilavesiyle N pikinin oluştuğu ve ağırlık yüzdesinin (ağırlıkça %) konsantrasyondaki artışa paralel olarak arttığı görülmektedir. İnhibitör katkılı numunelerde C-S-H jellerinin daha fazla iç içe geçtiği, hidrasyon reaksiyonlarının daha verimli olduğu ve CH'lerin oluştuğu gözlenmektedir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, L-arjininin hidratlı çimento hamurunun yapısını optimize edebildiği ve bu verilerin FT-IR, XRD ve termal analiz sonuçlarını doğruladığı görülmektedir.



## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında donatı çeliğinin korozyon mekanizması inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında 2 saat, 7, 28, 56 ve 90 gün süre ile araştırılmıştır. Ayrıca çimento numunelerine ilave edilen ekolojik inhibitörlerin hidratasyon gelişimine ve basınç dayanımına etkileri incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Bu tez çalışması ile betonarme çeliğinin korozyonunun önlenmesi/yavaşlatılması amacıyla ekolojik inhibitörler kullanılmış ve hem korozyon hem de çimento deneyleri yapılarak literatüre katkıda bulunulmuştur.
- Boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarına ilave edilen kafein ve L-arjinin molekülünün donatı çeliğinin korozyonuna etkisinin araştırıldığı bu çalışmada DEIS yöntemi ilk defa kullanılmıştır.
- EIS, DEIS ve TP yöntemleri sonuçlarının birbirlerini destekler nitelikte olduğu ve boşluk suyu çözeltisinde elde edilen değerlerin karışım suyu ortamına oranla daha yüksek olduğu yani korozyonun daha az meydana geldiği görülmüştür. Çalışma ile potansiyel-pH diyagramlarının önemi ortaya konulmuş; pH değişimi ile korozyon mekanizmasının değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca boşluk suyu ortamında pH değerlerinin yüksek olmasının metali korozyona karşı koruduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.
- Yapılan tüm elektrokimyasal deney sonuçlarına göre kullanılan inhibitörlerin bekleme süresi ile paralel olarak donatı çeliğinin korozyon direncini arttırdığı ve L-arjinin molekülünün kafein molekülüne kıyasla daha iyi inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edilmiştir.
- SEM ve EDS analizleri incelendiğinde bekleme süresinin artışına bağlı olarak boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarına maruz bırakılan donatı çeliğinin yüzeyinde meydana gelen pasif filmin metali korozyona karşı koruduğu ve her iki ortama ilave edilen 50 ppm kafein ve 50 ppm L-arjininin metal yüzeyinde tutulduğu görülmüştür.

- AFM ve OP analizleri incelendiğinde bekleme süresinin artışına bağlı olarak boşluk suyu ve karışım suyu ortamlarında donatı çeliğinin yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana geldiği ve her iki ortama ilave edilen inhibitörlerin de yüzey pürüzlülüğü değerlerini azaltıcı yönde etki ettiği gözlenmiştir. AFM ve OP sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinin L-arjinin ilavesi ile en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.
- Yüzey analizi yöntemleri ile elde edilen veriler, elektrokimyasal yöntemlerin sonucu ile paralellik göstermektedir. Bekleme süresi ile donatı çeliği yüzeyinde oluşan pasif filmin metali korozyona karşı koruduğu uygulanan yüzey analizi sonuçları ile belirlenmiştir.
- Çimento numunelerine uygulanan XRD, FT-IR, DTA-TGA ve SEM analizleri incelendiğinde inhibitör ilavesinin hidrasyon ürünlerinin oluşmasına ve C-S-H miktarını arttırarak mukavemete katkı sağladığı görülmüştür.
- Kafein ve L-arjinin içeren harçların 28. günde elde edilen basınç dayanımı değerlerinin, oluşan C-S-H jeli nedeni ile diğer tüm çimento harçlarından daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür.
- Çimento numunelerine uygulanan tüm çalışmalarından elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ve kullanılan her iki inhibitöründe çimento hidrasyonunu negatif yönde etkilemediği görülmüştür.
- Yapılan elektrokimyasal ve çimento deneylerinden elde edilen sonuçlara göre kafein ve L-arjininin korozyon inhibitörü olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak korozyon direncinin yüksek olması ve çimentoya olumlu katkıları bakımından betonarme korozyonu için L-arjininin inhibitör olarak kullanılmasının daha uygun olacağı önerilmektedir.
- Elde edilen tüm sonuçlar kullanılan inhibitörlerin agresif olmayan ortamlarda olumlu sonuç verdiğini göstermektedir. Bu doğrultuda klor, sülfat vb. gibi agresif iyon içeren karışım suyu ve boşluk suyu ortamlarında benzer çalışmalar yapılarak kafein ve L-arjininin inhibitör etkinlikleri araştırılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] M. Doğan, “Corrosion failure in concrete reinforcement to damage during seismic”, *Engineering Failure Analysis*, c. 56, ss. 275-287, 2015.
- [2] Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, TS EN 196-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [3] H. Gerengi ve M. Kurtay, “Teaching "Corrosion and corrosion-resistant materials" class as a must course in material and material processing technologies program”, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, c. 3, ss. 67-71, 2013.
- [4] Y. Ouglova, M. Berthaud, ve F. François, F. “Foct Mechanical properties of an iron oxide formed by corrosion in reinforced concrete structures”, *Corrosion Science*, c. 48 sayı 12, ss. 3988-4000, 2006.
- [5] D. C. Cook, “Deniz ortamlarındaki çelik yapılar üzerindeki koruyucu ve koruyucu olmayan korozyon kaplamalarının spektroskopik tanımlanması”, *D.C. Cook/ Korozyon Bilimi*, c. 47, ss. 2550–2570, 2005.
- [6] P. Hoşhan, “Beton içindeki çeliğin korozyonunun üç elektrot yöntemi ile incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1994.
- [7] H. Gerengi, Y. Koçak, M. Kurtay, ve H. Durgun, “Diatomit ve Zeolit İkameli Beton İçerisindeki Donatı Korozyonunun Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi ile İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, ss. 661-671, 2016.
- [8] H. Bensabra ve N. Azzouz, “Study of rust effect on the corrosion behavior of reinforcement steel using impedance spectroscopy”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, c. 44, sayı 13, ss. 5703–5710, 2013.
- [9] S. Mundra, M. Criado, S.A. Bernal, ve J.L. Provisa, “Chloride-induced corrosion of steel rebars in simulated pore solutions of alkali-activated concretes”, *Cement and Concrete Research*, c. 100, ss. 385–397, 2017.
- [10] X. Yu, L. Jiang, J. Xu, ve Y. Zu, “Effect of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> content on passivation and corrosion behaviour of steel in a simulated pore solution of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>-activated slag”, *Construction and Building Materials*, c. 146, ss. 156–164, 2017.
- [11] X. Li, U. Kappler, G. Jiang, ve P.L. Bond, “The ecology of acidophilic microorganisms in the corroding concrete sewer environment”, *Frontiers in Microbiology*, c. 8, ss. 1-16, 2017.

- [12] K. Kılınç, “Beton karışım suyundaki magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfür tuzlarının taze ve sertleşmiş çimento harcı özelliklerine etkisi”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [13] S. Okabe, M. Odagiri, T. Ito, ve H. Satoh, “Succession of sulfur-oxidizing bacteria in the microbial community on corroding concrete in sewer systems”, *Applied and Environmental Microbiology*, c. 73, ss. 971–980, 2007.
- [14] F. Pruckner, “Corrosion and protection of reinforcement in concrete measurements and interpretation”, *University of Vienna Faculty of Natural Sciences and Mathematics*, 2001.
- [15] E. Ülger, “Glikozun betonarme çeliği korozyonuna etkisi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [16] T. Coşgun, “İstanbul'da Deprem Sonrası Yapılan İncelemelerde Karşılaşılan Korozyon Hasarı Üzerine Bir İnceleme”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2003, ss. 269-278.
- [17] İ. Çil, “Betonarme Donatısında Elektriksel Yöntemlerle Korozyon Ölçümü”, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, sayı 1, ss. 59-63, 2006.
- [18] İ. Uygur, “An investigation of reinforced concrete buildings through reconstruction process in Duzce”, *Journal of Polytechnic*, c. 9, sayı 4, ss. 279–288, 2006.
- [19] A. Güzelçiçek, M. Dal, ve B. Zengin, “Betonarme Yapılardaki Donatı Korozyonunun Kimyasal Analizi”, *Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi*, c. 5, sayı 1, ss. 52-61, 2017.
- [20] Z. Şimşek ve N. Akıncıtürk, “Betonarme Yapı Elemanları Üzerindeki Basıncılı Yeraltı Su Geçirimsizliğine Puzzolan Katkı Maddelerinin Etkisi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 11, sayı 2, ss. 33-41, 2006.
- [21] R. Liu, L. Jiang, J. Xu, C. Xiong, ve Z. Song, “Influence of carbonation on chloride-induced reinforcement corrosion in simulated concrete pore solutions”, *Construction and Building Materials*, c. 56, ss. 16–20, 2014.
- [22] R.B. Figueira, A. Sadovski, A.P. Melo, ve E.V. Pereira, “Chloride threshold value to initiate reinforcement corrosion in simulated concrete pore solutions: The influence of surface finishing and pH”, *Construction and Building Materials*, c. 141, ss. 183–200, 2017.
- [23] F. Shaheen ve B. Pradhan, “Influence of sulfate ion and associated cation type on steel reinforcement corrosion in concrete powder aqueous solution in the presence of chloride ions”, *Cement and Concrete Research*, c. 91, ss. 73–86, 2017.

- [24] M.O. Mulwa, T.J. Karanja, ve M. J. Wachira, “Effect of sulphate ions in mixing water on cement mortar performance”, *IOSR Journal of Applied Chemistry*, c. 9, sayı 1, ss. 11-15, 2016.
- [25] G.L.F. Mendonça, S.N. Costa, V.N. Freire, P.N.S. Casciano, A.N. Koreia, ve P. Lima-Neto, “Understanding the corrosion inhibition of carbon steel and copper in sulphuric acid medium by amino acids using electrochemical techniques allied to molecular modelling methods”, *Corrosion Science*, c. 115, ss. 41–55, 2017.
- [26] S. Konuklu, “Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [27] H. Gerengi, “Tafel polarizasyon (TP), lineer polarizasyon (LP), Harmonik analiz (HA) ve dinamik elektrokimyasal impedans spektroskopisi (DEIS) yöntemleriyle düşük karbon çeliği (AISI 1026), pirinç-MM55 ve nikelium-118 alaşımlarının yapay deniz suyunda korozyon davranışları ve pirinç alaşımlarına benzotriazol’un inhibitör etkisinin araştırılması”, Doktora tezi, Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2008.
- [28] M. Stern ve A. L. Geary, “Electrochemical polarization: I. A theoretical analysis of the shape of polarization curves”, *Journal of the Electrochemical Society*, c. 104, sayı 1, ss. 56-63, 1957.
- [29] H. Gerengi, K. Schaefer, ve H. I. Sahin, “Corrosion-inhibiting effect of Mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acidic media”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, c. 18, ss. 2204–2210, 2012.
- [30] S. Nagarajan, M. Karthega, ve N. Rajendran, “Pitting corrosion studies of super austenitic stainless steels in natural sea water using dynamic electrochemical impedance spectroscopy”, *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 37, ss. 195-201, 2007.
- [31] H. Gerengi, “The use of dynamic electrochemical impedance spectroscopy in corrosion inhibitor studies”, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, c. 54, ss. 536–540, 2018.
- [32] H. Gerengi, C. Tascioglu, C. Akcay, ve M. Kurtay, “Impact of Copper Chrome Boron (CCB) wood preservative on the corrosion of St37 steel”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, c. 53, sayı 49, ss. 19192–19198, 2014.
- [33] H. Gerengi, A. Jazdzewska, ve M. Kurtay, “A comprehensive evaluation of mimosa extract as a corrosion inhibitor on AA6060 alloy in acid rain solution: part I. Electrochemical AC methods”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, c. 29, sayı 1, ss. 36-48, 2015.
- [34] H. Gerengi, I. Uygur, M. Solomon, M. Yildiz, ve H. Goksu, “Evaluation of the inhibitive effect of Diospyros kaki (Persimmon) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, c. 4, ss. 57-

66, 2016.

- [35] H. Gerengi ve M. Kurtay, “Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 2, ss. 71–78, 2014.
- [36] J.L. Smith ve Y.P. Virmani, “Materials and methods for corrosion control reinforced and prestressed concrete structures in new construction”, National Technical Informatin Report, 2000.
- [37] L. Bertolini, M. Carsana, M. Gastaldi, F. Lollini, ve E. Redaelli, “Corrosion of steel in concrete and its prevention in aggressive chloride-bearing environments”, *5th International Conference on Durability of Concrete Structures*, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong Province, P.R.China, 2016, ss. 13-25.
- [38] A.A. Gürten, K. Kayakırılmaz, ve M. Erbil, “The effect of thiosemicarbazide on corrosion resistance of steel reinforcement in concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 21, ss. 669–676, 2007.
- [39] S. Fajardo, D.M. Bastidas, M. Criado, ve J.M. Bastidas, “Electrochemical study on the corrosion behaviour of a new low-nickel stainless steel in carbonated alkaline solution in the presence of chlorides”, *Electrochimica Acta*, c. 129, ss. 160–170, 2014.
- [40] Anonim, (2020, 20 Mayıs), *Corrosion Inhibitors Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Organic, Inorganic), By Type (Water Based, Oil Based), By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2020-2027*, [Online] Erişim:<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/corrosion-inhibitors-market>
- [41] M. Erbil, *Korozyon İlkeler-Önlemler*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Korozyon Derneği Yayınevi, 2012.
- [42] S. Mohammadi, F.B. Ravari, ve A. Dadgarinezhad, “Improvement in corrosion inhibition efficiency of Molybdate-based inhibitors via addition of Nitroethane and zinc in stimulated cooling water”, *International Scholarly Research Notices*, c. 2012, ss. 1-9, 2012.
- [43] P.B. Raja, S. Ghoreishiamiri, ve M. Ismail, “Natural corrosion inhibitors for steel reinforcement in concrete – A review”, *World Scientific Publishing Company*, c. 22, ss. 68-75, 2015.
- [44] M.L.S. Rivetti, J.S.A. Neto, N.S.A. Júnior, ve D.V. Ribeiro, “Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, Corrosion Inhibitors”, *Principles and Recent Applications*, ss. 35-58, 2018.
- [45] B. P. Maliekkal, J. T. Kakkassery, ve V. R. Palayoo, “Efficacies of sodium nitrite and sodium citrate–zinc acetate mixture to inhibit steel rebar corrosion in simulated concrete interstitial solution contaminated with NaCl”, *International Journal of Industrial Chemistry*, c. 9, sayı 2, ss. 105–114, 2018.

- [46] Corrosion of metals and alloys – Basic terms and definitions, ISO 8044, The International Organization for Standardization, 2015.
- [47] F. Bolzoni, A. Brenna, G. Fumagalli, S. Goidanich, L. Lazzari, M. Ormellese, ve M.P. Pedferri, “Experiences on corrosion inhibitors for reinforced concrete”, *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, c. 3, sayı 4, ss. 254–278, 2014.
- [48] Y. Liu, Z. Song, W. Wang, L. Jiang, Y. Zhang, M. Guo, F. Song, ve N. Xu, “Effect of ginger extract as green inhibitor on chloride-induced corrosion of carbon steel in simulated concrete pore solutions”, *Journal of Cleaner Production*, c. 214, ss. 298-307, 2019.
- [49] J. K. Das ve B. Pradhan, “Effect of cation type of chloride salts on corrosion behaviour of steel in concrete powder electrolyte solution in the presence of corrosion inhibitors”, *Construction and Building Materials*, c. 208, ss. 175-191, 2019.
- [50] M. Balonis, G. Sant, ve O.B. Isgor, “Mitigating steel corrosion in reinforced concrete using functional coatings, corrosion inhibitors, and atomistic simulations”, *Cement and Concrete Composites*, c. 101, ss. 15-23, 2019.
- [51] T. Bellezze, D. Timofeeva, G. Giuliani, ve G. Roventi, “Effect of soluble inhibitors on the corrosion behaviour of galvanized steel in fresh concrete”, *Cement and Concrete Research*, c. 107, ss. 1-10, 2018.
- [52] H.S. Lee, H.M. Yang, J.K. Singh, S.K. Prasad, ve B. Yoo, “Corrosion mitigation of steel rebars in chloride contaminated concrete pore solution using inhibitor: An electrochemical investigation”, *Construction and Building Materials*, c. 173, ss. 443-451, 2018.
- [53] A. S. Fazayel, M. Khorasani, ve A. Sarabi, “The effect of functionalized polycarboxylate structures as corrosion inhibitors in a simulated concrete pore solution”, *Applied Surface Science*, c. 441, ss. 895-913, 2018.
- [54] F. Cao, J. Wei, J. Dong, ve W. Ke, “The corrosion inhibition effect of phytic acid on 20SiMn steel in simulated carbonated concrete pore solution”, *Corrosion Science*, c. 100, ss. 365-376, 2015.
- [55] H. Lee, H. Ryu, W. Park, ve M. Ismail, “Comparative study on corrosion protection of reinforcing steel by using amino alcohol and lithium nitrite inhibitors”, *Materials*, c. 8, ss. 251-269, 2015.
- [56] K.Y. Ann, H.S. Jung, H.S. Kim, S.S. Kim, ve H.Y. Moon, “Effect of calcium nitrite-based corrosion inhibitor in preventing corrosion of embedded steel in concrete”, *Cement and Concrete Research*, c. 36, ss. 530–535, 2006.
- [57] K. Zhang, W. Yang, X. Yin, Y. Chen, Y. Liu, J. Le, ve B. Xu, “Amino acids modified konjac glucomannan as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution”, *Carbohydrate Polymers*, c. 181, ss. 191-199, 2018.

- [58] M. Yadav, T.K. Sarkar, ve T. Purkait, "Amino acid compounds as eco-friendly corrosion inhibitor for N80 steel in HCl solution: Electrochemical and theoretical approaches", *Journal of Molecular Liquids*, c. 212, ss. 731-738, 2015.
- [59] B.El Ibrahimi, A.Jmiai, L.Bazzi, ve S.El Issami, "Amino acids and their derivatives as corrosion inhibitors for metals and alloys", *Arabian Journal of Chemistry*, c. 13, ss. 740-771, 2020.
- [60] M.A. Asaad, M. Ismail, P.B. Raja, ve N.H.A. Khalid, "Rhizophora apiculata as eco-friendly inhibitor against mild steel corrosion in 1 M HCl", *Surface Review and Letters*, c. 24, ss. 1850013, 2017.
- [61] S. Jiang, S. Gao, L. Jiang, M.Z Guo, Y. Jiang, C. Chen, M. Jin, ve S. Bai, "Effects of Deoxyribonucleic acid on cement paste properties and chloride-induced corrosion of reinforcing steel in cement mortars", *Cement and Concrete Composites*, c. 91, ss. 87-96, 2018.
- [62] P. Muthukrishnan, B. Jeyaprabha, ve P. Prakash, "Adsorption and corrosion inhibiting behavior of Lannea coromandelica leaf extract on mild steel corrosion", *Arabian Journal of Chemistry*, c. 10, ss. 2343-2354, 2017.
- [63] E. Zacharopoulou, A. Zacharopoulou, A. Sayedalhosseini, G. Batis, ve S. Tsvilis, "Effect of corrosion inhibitors in limestone cement", *Materials Sciences and Applications*, c. 4, ss. 12-19, 2013.
- [64] I. Fayala, L. Dhouibi, X.R. Nóvoa, ve M. Ben Ouezdou, "Effect of inhibitors on the corrosion of galvanized steel and on mortar properties", *Cement Concrete Composites*, c. 35, ss. 181-189, 2013.
- [65] J.J. Shi ve W. Sun, "Effects of phosphate on the chloride-induced corrosion behavior of reinforcing steel in mortars", *Cement Concrete Composites*, c. 45, ss. 166-175, 2014.
- [66] M. Ormellese, L. Lazzari, S. Goidanich, G. Fumagalli, ve A. Brenna, "A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete". *Corrosion Science*, c. 51, sayı 12, ss. 2959-2968, 2009.
- [67] R. Yavuz, O. Günaydın, ve K. Güçlüer, "Investigation of corrosion and adherence in reinforced concrete", *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences*, c. 22, ss. 12-18, 2019.
- [68] M.P. Kumar, K.M. Mini, ve M. Rangarajan, "Ultrafine GGBS and calcium nitrate as concrete admixtures for improved mechanical properties and corrosion resistance", *Construction and Building Materials*, c. 182, ss. 249-257, 2018.
- [69] A. Królikowski ve J. Kuziak, "Impedance study on calcium nitrite as a penetrating corrosion inhibitor for steel in concrete", *Electrochimica Acta*, c. 56, ss. 7845-7853, 2011.

- [70] J.S. Reou ve K.Y. Ann, “The electrochemical assessment of corrosion inhibition effect of calcium nitrite in blended concretes”, *Materials Chemistry and Physics*, c. 109, ss. 526–533, 2008.
- [71] O. A. Omotosho, J. O. Okeniyi, ve O.O. Ajayi, “Performance evaluation of potassium dichromate and potassium chromate inhibitors on concrete steel rebar corrosion”, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, c. 10, ss. 408–415, 2010.
- [72] J.O. Okeniyi, O.A. Omotosho, O.O. Ajayi, ve C.A. Loto, “Effect of potassium-chromate and sodium-nitrite on concrete steel-rebar degradation in sulphate and saline media”, *Construction and Building Materials*, c. 50, ss. 448–456, 2014.
- [73] A. Douche-Portanguen, W. Prince, T. Lutz, G. Arliguie, “Detection or quantitative analysis of a corrosion inhibitor, the sodium monofluorophosphate in concrete”, *Cement and Concrete Composites*, c. 27, sayı 6, ss. 679-687, 2005.
- [74] H. Yalçın ve T. Koç, *Betonarme demirlerinin korozyonu ve önlenmesi*, Birinci Baskı, Ankara, Türkiye: CMS Kongre Yönetim Sistemleri Uluslararası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri, 2004.
- [75] P. Ghods, O.B. Isgor, G. McRae, ve T. Miller, “The effect of concrete pore solution composition on the quality of passive oxide films on black steel reinforcement”, *Cement and Concrete Composites*, c.31, ss. 2-11, 2009.
- [76] G. Liu, Y. Zhang, Z. Ni, ve R. Huang, “Corrosion behavior of steel submitted to chloride and sulphate ions in simulated concrete pore solution”, *Construction and Building Materials*, c. 115, ss. 1–5, 2016.
- [77] G. Liu, Y. Zhang, M. Wu, ve R. Huang, “Study of depassivation of carbon steel in simulated concrete pore solution using different equivalent circuits”, *Construction and Building Materials*, c. 157, ss. 357-362, 2017.
- [78] E.A. Noor, A.H. Al-Moubaraki, ve D. Al-Masoudi, “Electrochemical behavior of reinforcement steel in simulate concrete pore solution with and without chloride ions”, *Der Pharma Chemica*, c. 9, sayı 4, ss. 86-92, 2017.
- [79] S. Gaboreau, D. Prêt, V. Montouillout, P. Henocq, J.C. Robinet, ve C. Tournassat, “Quantitative mineralogical mapping of hydrated low pH concrete”, *Cement and Concrete Composites*, c. 83, ss. 360-373, 2017.
- [80] H.K. Kim ve H.K. Lee, “Hydration kinetics of high-strength concrete with untreated coal bottom ash for internal curing”, *Cement and Concrete Composites*, c. 91, ss. 67-75, 2018.
- [81] L. Dhouibi, P. Refait, E. Triki, ve J. Genin, “Interactions between nitrites and Fe(II)-containing phases during corrosion of iron in concrete-simulating electrolytes”, *Journal of Materials Science*, c. 41, ss. 4928–4936, 2006.
- [82] M. Saremi, ve E. Mahallati, “A study on chloride-induced depassivation of mild steel in simulated concrete pore solution”, *Cement and Concrete Research*, c.

32, ss. 1915–1921, 2002.

- [83] J. Bonastre, P. Garce's, F. Huerta, C. Quijada, L.G. Andio'n, ve F. Cases, "Electrochemical study of polypyrrole/ $PW_{12}O_{40}^{3-}$  coatings on carbon steel electrodes as protection against corrosion in chloride aqueous solutions", *Corrosion Science*, c. 48, ss. 1122–1136, 2006.
- [84] T. Henriques, A. Reguengos, L. Proenca, E. Pereira, M. Rocha, M. Neto, ve I. Fonseca, "A voltammetric study on the corrosion of prestressed steel in saturated  $Ca(OH)_2$  solution containing chloride ions", *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 40, ss. 99–107, 2010.
- [85] N. Birbilis, K.M. Nairn, ve M. Forsyth, "On the electrochemical response and interfacial properties of steel- $Ca(OH)_2$  and the steel-concrete system measured using galvanostatic pulses", *Electrochimica Acta*, c. 49, ss. 4331–4339, 2004.
- [86] W. Chen, D. Rong-Gui, Y. Chen-Qing, Z. Yan-Feng, ve L. Chang-Jian, "Study on the corrosion behavior of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions using in situ Raman spectroscopy assisted by electrochemical techniques", *Electrochimica Acta*, c. 55, ss. 5677–5682, 2010.
- [87] M.V. Diamanti, E.A. Pérez Rosales, G. Raffaini, F. Ganazzoli, A. Brenna, M. Pedferri, ve M. Ormellese, "Molecular modelling and electrochemical evaluation of organic inhibitors in concrete", *Corrosion Science*, c. 100, ss. 231–241, 2015.
- [88] M. Yildiz, H. Gerengi, M.M. Solomon, E. Kaya, S.A. Umoren, "Influence of 1-butyl-1-methylpiperidinium tetrafluoroborate on St37 steel dissolution behavior in HCl environment", *Chemical Engineering Communications*, c. 205, sayı 4, ss. 538-548, 2018.
- [89] H. Gerengi, M.M. Solomon, S.A. Umoren, H.I. Ugras, M. Yildiz, P. Slepski, "Improved Performance of 1-Ethyl-3-Methylimidazolium Tetrafluoroborate at Steel/HCl Interface by Iodide Ions", *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, c. 4, sayı 12, ss. 1-11, 2018.
- [90] V. Madhavan ve C.A. Jeyasehar, "Strength and durability studies on sodium nitrite inhibitor in ordinary and high-performance concrete", *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, c. 5, sayı 3, ss. 11-25, 2013.
- [91] M.A. Asaad, M. Ismail, M.M. Tahir, G.F. Huseien, P.B. Raja, ve Y.P. Asmara, "Enhanced corrosion resistance of reinforced concrete: Role of emerging eco-friendly *Elaeis guineensis*/silver nanoparticles inhibitor", *Construction and Building Materials*, c. 188, ss. 555-568, 2018.
- [92] C. Alonso, C. Andrade, C. Argiz, ve B. Malric, " $Na_2PO_3F$  as inhibitor of corroding reinforcement in carbonated concrete", *Cement and Concrete Research*, c. 26, sayı 3, ss. 405-415, 1996.
- [93] E.D. Gaius, E. Hamzah, ve M. Ismail, "Effect of inhibitors on the corrosion behaviour of carbon steel reinforced in concrete", *Jurnal Mekanikal*, c. 36, ss.

42- 49, 2013.

- [94] Z. Cao, M. Hibino, ve H. Goda, “Effect of nitrite inhibitor on the macrocell corrosion behavior of reinforcing steel”, *Journal of Chemistry*, c. 2015, ss. 1-15, 2015.
- [95] R. Dharmaraj ve R. Malathy, “Performance Evaluation of Sodium Nitrite Corrosion Inhibitor in Self Compacting Concrete”, *Indian Journal of Science and Technology*, c. 8, sayı 36, ss. 1-6, 2015.
- [96] N. Etteyeb ve X.R. Nóvoa, “Inhibition effect of some trees cultivated in arid regions against the corrosion of steel reinforcement in alkaline chloride solution”, *Corrosion Science*, c. 112, ss. 471–482, 2016.
- [97] M.M., Solomon, H. Gerengi, S.A. Umoren, N.B. Essien, U.B. Essien, E. Kaya, “Gum Arabic-silver nanoparticles composite as a green anticorrosive formulation for steel corrosion in strong acid media”, *Carbohydrate polymers*, c. 181, ss. 43-55, 2018.
- [98] F.S. de Souza, R.S. Gonçalves ve A. Spinelli, “Assessment of caffeine adsorption onto mild steel surface as an eco-friendly corrosion inhibitor”, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, c. 25, ss. 81-90, 2014.
- [99] V. Kouakou, P. M. Niamien, A. J. Yapo, S. Diaby, ve A. Trokourey, “Experimental and DFT studies on the behavior of caffeine as effective corrosion inhibitor of copper in 1M HNO<sub>3</sub>”, *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, c. 8, sayı 2, ss. 66-79, 2016.
- [100] H. Elmsellem, A. Aouniti, M.H. Youssoufi, H. Bendaha, T. Ben hadda, A. Chetouani, I. Warad, ve B. Hammouti, “Caffeine as a corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid”, *Physical and Chemical News*, c. 70, ss. 84-90, 2013.
- [101] K. F. Khaled ve S. R. Al-Mhyawi, “Electrochemical and density function theory investigations of L-arginine as corrosion inhibitor for steel in 3.5% NaCl”, *International Journal of Electrochemical Science*, c. 8, ss. 4055-4072, 2013.
- [102] K.F. Khaled, N.S. Abdel-Shafi, N.A. Al-Mubarak, ve M.S. Alonazi, “L-arginine as corrosion and scale inhibitor of steel in synthetic reservoir water”, *International Journal of Electrochemical Science*, c. 11, ss. 2433–2446, 2016.
- [103] K.F. Khaled ve N.S. Abdel-Shafi, “Chemical and electrochemical investigations of L- Arginine as corrosion inhibitor for steel in hydrochloric acid solutions”, *International Journal of Electrochemical Science*, c. 8, ss. 1409-1421, 2013.
- [104] T. Shanthi ve S. Rajendran, “Influence of polyvinyl alcohol on corrosion resistance of mild steel simulated concrete pore solution prepared in well water”, *Chemical Science Transactions*, c. 3, ss. 187-192, 2014.
- [105] N. Gartner, T. Kosec, ve A. Legat, “The efficiency of a corrosion inhibitor on steel in a simulated concrete environment”, *Materials Chemistry and Physics*,

c. 184, ss. 31-40, 2016.

- [106] S. Jiang, L. Jiang, Z. Wang, M. Jin, S. Bai, S. Song, ve X. Yan, “Deoxyribonucleic acid as an inhibitor for chloride-induced corrosion of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions”, *Construction and Building Materials*, c. 150, ss. 238–247, 2017.
- [107] Çelik-Betonarme için- Donatı çeliği”, Bölüm 6: İncelik tayini, TS-708, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [108] Çimento deney yöntemleri- Bölüm 6: İncelik tayini, TS EN 196-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [109] S. Ghorbani, I. Taji, M. Tavakkolizadeh, A. Davodi, ve J. Brito, “Improving corrosion resistance of steel rebars in concrete with marble and granite waste dust as partial cement replacement”, *Construction and Building Materials*, c. 185, ss. 110-119, 2018.
- [110] H.-S. Ryu, J.K. Singh, H.-S. Lee, M.A. Ismail, ve W.-J. Park, “Effect of LiNO<sub>2</sub> inhibitor on corrosion characteristics of steel rebar in saturated Ca(OH)<sub>2</sub> solution containing NaCl: an electrochemical study”, *Construction and Building Materials*, c.133, ss. 387-396, 2017.
- [111] H.-S. Ryu, J.K. Singh, H.-S. Lee, ve W.-J. Park, “An electrochemical study to evaluate the effect of calcium nitrite inhibitor to mitigate the corrosion of reinforcement in sodium chloride contaminated Ca(OH)<sub>2</sub> solution”, *Advances in Materials Science and Engineering*, c. 173, ss. 443-451, 2018.
- [112] S.J. Ford, J.D. Shane, ve T.O. Mason, “Assignment of features in impedance spectra of the cement – paste/steel system”, *Cement and Concrete Research*, c. 28, sayı 12, ss. 1737-1751, 1998.
- [113] M. Kurtay, “İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [114] Çimento deney yöntemleri- Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, TS EN 196-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [115] Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TS EN 197-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [116] A. Subaşı ve M. Emiroğlu, “Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement”, *Construction and Building Materials*, c. 95, ss. 257–268, 2015.
- [117] İ. Özdemir ve Y. Koçak, “Investigation of physical and mechanical properties of rice husk ash replaced cements”, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, c. 7, ss. 160-168, 2020.

- [118] F. Canpolat, K. Yılmaz, M. Köse, M. Sümer, ve M.A. Yurdusev, “Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production”, *Cement and Concrete Research*, c. 34, sayı 5, ss. 731-735, 2004.
- [119] İ.B. Topçu ve C. Karakurt, “Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento üretiminde katkı olarak kullanımı”, 7. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2007, ss. 395-404.
- [120] Y. Kocak, E. Tascı ve U. Kaya, “The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements”, *Construction and Building Materials*, c. 47, ss. 720–727, 2013.
- [121] M. Nowacka ve B. Pacewska, “Effect of structurally different aluminosilicates on early-age hydration of calcium aluminate cement depending on temperature”, *Construction and Building Materials*, c. 235, ss. 117404, 2020.
- [122] H.C. Pedrosa, O.M. Reales, VD. Reis, M. D. Paiva, ve E.M.R. Fairbairn, “Hydration of Portland cement accelerated by C-S-H seeds at different temperatures”, *Cement and Concrete Research*, c. 129, ss. 105978, 2020.
- [123] M. Falk, M. Gil ve N. Iza, “Self-association of caffeine in aqueous solution: an FT-IR study”, *Canadian Journal of Chemistry*, c. 68, sayı 8, ss. 1293-1299, 1990.
- [124] P. Feng, H. Chang, X. Liu, S. Ye, X. Shu, ve Q. Ran, “The significance of dispersion of nano-SiO<sub>2</sub> on early age hydration of cement pastes”, *Materials & Design*, c. 186, ss. 108320, 2020.
- [125] B. Zhang, H. Tan, W. Shen, G. Xu, B. Ma, ve X. Ji, “Nano-silica and silica fume modified cement mortar used as Surface Protection Material to enhance the impermeability”, *Cement and Concrete Composites*, c. 92, ss. 7-17, 2018.
- [126] H. El-Diadamony, A.A. Amer, T.M. Sokkary, ve S. El-Hoseny, “Hydration and characteristics of metakaolin pozzolanic cement pastes”, *HBRC Journal*, c. 14, sayı 2, ss. 150-158, 2018.
- [127] P.M. Zadeh, S.F. Saghravani, ve G. Asadollahfardi, “Mechanical and durability properties of concrete containing zeolite mixed with meta-kaolin and micro-nano bubbles of water”, *Structural Concrete*, c. 20, ss. 786–797, 2019.
- [128] A. Morandau, M. Thiery, ve P. Dangel, “Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties”, *Cement and Concrete Research*, c. 56, ss. 153-170, 2014.
- [129] S.M. Monteagudo, A. Moragues, J.C. Gálvez, M.J. Casati, ve E. Reyes, “The degree of hydration assessment of blended cement pastes by differential thermal and thermogravimetric analysis. Morphological evolution of the solid phases”, *Thermochimica Acta*, c. 592, ss. 37-51, 2014.
- [130] Y. Kocak, “Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement”, *Construction and Building Materials*, c. 31, ss. 101419,

2020.

- [131] B. Ma, T. Zhang, H. Tan, X. Liu, J. Mei, H. Qi, W. Jiang, ve F. Zou, “Effect of triisopropanolamine on compressive strength and hydration of cement-fly ash paste”, *Construction and Building Materials*, c. 179, ss. 89–99, 2018.
- [132] M. Bhattacharya ve K.V. Harish, “An integrated approach for studying the hydration of portland cement systems containing silica fume”, *Construction and Building Materials*, c. 188, ss. 1179-1192, 2018.
- [133] P. Duan, C. Yan, ve W. Zhou, “Compressive strength and microstructure of fly ash based geopolymer blended with silica fume under thermal cycle”, *Cement and Concrete Composites*, c. 78 ss. 108-119, 2017.
- [134] C.E.M. Gomes, O.P. Ferreira, ve M.R. Fernandes, “Influence of vinyl acetate-versatic vinylester copolymer on the microstructural characteristics of cement pastes”, *Material Research*, c. 8, ss. 51-56, 2005.
- [135] C.E.M. Gomes ve O.P. Ferreira, “Analyses of microstructural properties of VA/VeoVA copolymer modified cement pastes”, *Polimeros*, c. 15, sayı 3, ss. 193-198, 2005.
- [136] J. Zhu, G. Li, C. Feng, L. Wang, ve W. Zhang, “Effect of delaminated MXene ( $Ti_3C_2$ ) on the performance of cement paste”, *Journal of Nanomaterials*, c. 2019, ss. 1-8, 2019.
- [137] M.E. Rahman, P J. Ong, O. Nabinejad, S. Islam, N.A.N. Khandoker, V. Pakrashi, ve K. Md. Shorowordi, “Utilization of blended waste materials in bricks”, *Technologies*, c. 6, sayı 20, ss. 1-12, 2018.

## 6. EKLER

### 6.1. BU TEZDEN ÇIKAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

#### Tezden Çıkan Bilimsel Çalışmalar

1. M. Kurtay, H. Gerengi, “Corrosion of Reinforcement Steel in acidic environment” *Engineers of Future International Student Symposium–EFIS*, Bülent Ecevit University, Zonguldak, Oral presentation/ CD, 15-17 June 2017.
2. M. Kurtay, H. Gerengi, “Beton Karışım Suyunun Donatı Korozyonuna Etkisinin Araştırılması” *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Material Science and Technology-IMSTEC*, Kapadokya, Oral presentation/ CD, 11-13 Oct 2017.
3. M. Kurtay, H. Gerengi, “Sülfat İyonlarının Yapay Boşluk Suyu Çözeltilinde Donatı Korozyonuna Etkisi”, *1<sup>st</sup> International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (UHAKS'18-ISLAC'18)*, Karabük Üniversitesi, Karabük, Oral presentation/ CD, 22-24 May 2018.
4. M. Kurtay, H. Gerengi, “Corrosion effect of simulated concrete pore solution on the reinforced carbon steel in concrete”, *The 5<sup>th</sup> International Colloquium Corrosion & Material's Protection*, Monastir, Tunisia, Oral presentation/ CD, 28 Nov-01 Dec 2018.
5. M. Kurtay, H. Gerengi, Y. Koçak, Maduabuchi A. Chidiebere, Mesut Yıldız, 2020, “The potency of zeolite and diatomite on the corrosive destruction of reinforcing steel in 1 M HNO<sub>3</sub> environment”, *Construction & Building Materials*, c. 236, ss. 117572, 2020.
6. M. Kurtay, H. Gerengi, Y. Koçak, 2020, The effect of caffeine molecule on the physico-chemical properties of blended cement" *Construction & Building Materials*, c. 255, ss. 119394, 2020.
7. M. Kurtay, H. Gerengi, Y. Koçak, The influence of L-arginine as an additive on the compressive strength and hydration reaction of Portland cement, *Thermochimica Acta*, Under Review, 2020.
8. M. Kurtay, H. Gerengi, A. Chidiebere, M. Yıldız, Corrosion inhibition of reinforcement steel in mixture water by caffeine and L-arginine, *Construction & Building Materials*, Under Review, 2020.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mine KURTAY  
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.01.1990 Bakırköy  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : minekurtay90@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Kompozit Malzeme Teknojileri	Düzce Üniversitesi	2020
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2014
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2016
Lisans	Yapı Öğretmenliği	Düzce Üniversitesi	2012

## YAYINLAR

### SCI yayınlar:

1. H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jażdżewska, M. Kurtay, H. Durgun, 2013, “Electrochemical investigations on the corrosion behavior of reinforcing steels in diatomite and zeolite-containing concretes in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution”, Construction & Building Materials, Volume: 49, Page: 471–477.
2. H. Gerengi, C. Tascioglu, C. Akcay, M. Kurtay, 2014, “Impact of Copper Chrome Boron (CCB) Wood Preservative on the corrosion of St37 Steel”, Industrial & Engineering Chemistry Research, Volume: 53, No: 49, Page: 19192–19198.

3. H. Gerengi, A. Jazdzewska, M. Kurtay, 2015, "A comprehensive evaluation of mimosa extract as a corrosion inhibitor on AA6060 alloy in acid rain solution: part I. Electrochemical AC methods", *Journal of Adhesion Science and Technology*, Volume: 29, No: 1; Page: 36-48.
4. H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan, M. Kurtay, 2015, "Investigation of corrosion behaviour of 6060 and 6082 type aluminum alloys under simulated acid rain conditions", *Materials and Corrosion*, Volume: 66, No: 3, Page: 233-240.
5. H. Gerengi, M. Kurtay, H. Durgun, 2015, "The effect of zeolite and diatomite on the corrosion of reinforcement steel in 1 M HCl solution", *Result in Physics*, Volume: 5, Page: 148-153.
6. I. Uygur, H. Gerengi, Y. Arslan, M. Kurtay, 2015, "The effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 steel", *Materials Research*, Volume: 18, No: 3, Page: 569-574.
7. H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, 2016, "A morphological and electrochemical comparison of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Volume: 58, Page: 509-516.
8. H. Gerengi, H.I. Ugras, M.M. Solomon, S.A. Umoren, M. Kurtay, N. Atar, 2016, "Synergistic corrosion inhibition effect of 1-ethyl-1-methylpyrrolidinium tetrafluoroborate and iodide ions for low carbon steel in HCl solution", *Journal of Adhesion Science and Technology*, Volume: 30, No: 21, Page: 2383-2403.
9. H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jazdzewska, M. Kurtay, 2017, "Corrosion behavior of concrete produced with diatomite and zeolite exposed to chlorides", *Computers and Concrete*, Volume: 19, No: 2 Page: 161-169.
10. H. Gerengi, M.M. Solomon, M. Kurtay, G. Bereket, K. Goksen, M. Yıldız, E. Kaya, 2018, "Electrochemical and morphological assessments of inhibition level of 8-hydroxylquinoline for AA2024-T4 alloy in 3.5% NaCl solution", *Journal of Adhesion Science and Technology*, Volume: 32, No: 2, Page: 207-223.

11. M. Kurtay, H. Gerengi, Y. Koçak, Maduabuchi A. Chidiebere, Mesut Yıldız, 2020, “The potency of zeolite and diatomite on the corrosive destruction of reinforcing steel in 1 M HNO<sub>3</sub> environment”, Construction & Building Materials, Volume: 236, Page: 117572.

12. M. Kurtay, H. Gerengi, Y. Koçak, 2020, “The effect of caffeine molecule on the physico-chemical properties of blended cement”, Construction & Building Materials, Volume: 255, Page: 119394.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan yayınlar:

1. H. Gerengi, M. Kurtay, 2013, “Malzeme ve Malzeme işleme teknolojileri programında “Korozyon ve korozyona dayanıklı malzemeler” dersinin zorunlu olarak okutulması”, Electronic Journal of Vocational Colleges, Page: 67-71.

2. H. Gerengi, M. Kurtay, 2014, “Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Volume: 1; No: 2; Page: 71-78.

3. H. Gerengi, Y. Koçak, M. Kurtay, H. Durgun, 2016, “Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Volume: 4, Page: 661-671.

Uluslararası Sempozyumlar:

1. H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan, M. Kurtay, 2013, “Evaluation of corrosion behaviour of 6060 and 6082 type aluminum alloys in simulated acid rain using dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS)”, EUROCORR 2013, Portugal, Oral presentation/ CD.

2. H. Gerengi, M. Kurtay, 2013, “Teaching “Corrosion and Corrosion-Resistant Materials” class as a must course in material and material processing technologies program”, 3th International Vocational Schools of Symposium, 2-4 October 2013, Ardahan, Oral presentation/ CD.

3. H. Gerengi, M. Kurtay, 2013, "Mimoza bitki ekstraktının korozyon inhibitörü olarak kullanılması", 3th International Non-wood Forest Products Symposium", 8-10 May 2014, Kahramanmaraş, Oral presentation/ CD.
4. H. Gerengi, M. Kurtay, 2014, "İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi", IV. Fiziksel Kimya Kongresi, 5-7 Temmuz 2014, Pamukkale Üniversitesi, Oral presentation/ CD.
5. I. Uygur, H. Gerengi, Y. Arslan, M. Kurtay, 2014, "The effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 Steel", 13th International Corrosion Symposium, 15-17 Oct 2014, Fırat Üniversitesi, pp:99-104.
6. H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, 2014, "A morphological and electrochemical comprasion of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions", 13th International Corrosion Symposium, 15-17 Oct 2014, Fırat Üniversitesi, pp:105-111.
7. H. Gerengi, M. Kurtay, H. Durgun, 2015, "Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatının 1 M HCl çözeltisi içerisindeki korozyonu", 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 28-30 May 2015, Gazi Üniversitesi, Ankara, pp:221-225.
8. H. Gerengi, Y. Koçak, M. Kurtay, H. Durgun, 2015, "Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmesi", 1. Ulusal Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu, 10-12 Eylül 2015, Düzce Üniversitesi, Düzce, Oral presentation CD.
9. H. Gerengi, H.İ. Uğraş, M. Kurtay, N. Atar, 2015, "Corrosion inhibition of low carbon steel by Boron-Containing Ionic Liquids in 0.1 M HCl", 1st International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies, 27-30 Oct 2015, Bosna Hersek, Saraybosna, Oral presentation/ CD.
10. H. Gerengi, H.İ. Uğraş, M. Kurtay, 2015, "Investigation corrosion effect of KBF<sub>4</sub> on low carbon steel by Dynamic Electrochemical Impedance spectroscopy (DEIS)", 1st International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies, 27-30 Oct 2015, Bosna Hersek, Saraybosna, Oral presentation/ CD.
11. H. Gerengi, İ. Uygur, M. Kurtay, M. Yıldız, 2015, "Mimoza bitki ekstraktının

korozyon inhibitörü olarak inşaat sektöründe kullanımı”, 1st International International Congress on Engineering Architecture and Design, 13-14 Kasım 2015, Kocaeli, Oral presentation/ CD.

12. M. Kurtay, H. Gerengi, 2016, “AA6082 alaşımının ekolojik inhibitörlerle korozyonunun önlenmesi”, 14th International Corrosion Symposium, 5-7 Oct 2016, Bayburt University, Bayburt, Poster/ CD.

13. M. Kurtay, H. Gerengi, M. Yıldız, E. Kaya, 2017, “Effect of 8-hydroxycinoline in the corrosion of AA2024-T4 aluminum alloy in 3.5% NaCl”, Engineers of Future International Student Symposium – EFIS, Bülent Ecevit University, Zonguldak, Oral presentation/ CD, 15-17 June 2017.

14. M. Kurtay, H. Gerengi, 2017, “Corrosion of reinforcement steel in acidic environment”, Engineers of Future International Student Symposium – EFIS, Bülent Ecevit University, Zonguldak, Oral presentation/ CD, 15-17 June 2017.

15. H. Arslan, M. Kurtay, Y. Erdoğan, 2017, “Bina cephe elemanlarında yaşam döngüsü değerlendirmesi”, Engineers of Future International Student Symposium – EFIS, Bülent Ecevit University, Zonguldak, Oral presentation/ CD, 15-17 June 2017.

16. E. Kaya, H. Gerengi, M. Kurtay, M. Yıldız, 2017, “%3.5 NaCl ortamına daldırılmış yer altı yakıt ve petrol depolama tanklarında galvanik anotlu katodik koruma uygulaması”, Engineers of Future International Student Symposium – EFIS, Bülent Ecevit University, Zonguldak, Oral presentation/ CD, 15-17 June 2017.

17. M. Kurtay, M. Yıldız, H. Gerengi, 2017, “The usage of various plant extract as corrosion inhibitors”, The International Joint Science Congress of Materials & Polymers – ISCMP, Ohrid, Macedonia, Oral presentation/ CD, 25-28 August 2017.

18. M. Yıldız, M. Kurtay, H. Gerengi, H. İ. Uğraş, 2017, “New generation Boron-containing corrosion inhibitors”, The International Joint Science Congress of Materials & Polymers – ISCMP, Ohrid, Macedonia, Oral presentation/ CD, 25-28 August 2017.

19. H. Arslan, M. Kurtay, 2017, “Analysis of approaches to environmental assessment of building facades systems”, II. International Strategic Research Congress-ISRC, Antalya, Oral presentation/ CD, 28 Eylül – 1 Ekim 2017.

20. M. Kurtay, H. Gerengi, 2017, “Beton karışım suyunun donatı korozyonuna etkisinin araştırılması”, 2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı- IMSTEC, Kapadokya, Oral presentation/ CD, 11-13 Ekim 2017.

21. M. Kurtay, H. Gerengi, 2018, “Sülfat iyonlarının yapay boşluk suyu çözeltisinde donatı korozyonuna etkisi”, 1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu (UHAKS'18-ISLAC'18), Karabük Üniversitesi, Karabük, Oral presentation/ CD, 22-24 Mart 2018.

22. E. Kurtay, E. Kaya, M. Kurtay, H. Gerengi, 2018, “Anti-bacterial surface cleaner”, Eighth International Congress (Metallurgy, Materials, Environmental - MME), Ohrid, Macedonia, Oral presentation/ CD, 30 May - 3 June 2018.

23. M. Kurtay, H. Gerengi, 2018, “Corrosion effect of simulated concrete pore solution on the reinforced carbon steel in concrete”, The 5th International Colloquium Corrosion & Material's Protection, Monastir, Tunisia, Oral presentation/ CD, 28 Nov-01 Dec 2018.

#### Görev Aldığı Projeler:

1. **Araştırmacı** (2013-2014); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (**BAP**), “Yapay asit yağmurları altında 6060 ve 6082 alüminyum alaşımlarının korozyon davranışlarının dinamik empedans spektroskopisiyle (DEIS) incelenmesi” (Proje No: 2013.26.04.208).

2. **Araştırmacı** (2013-2015); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (**BAP**), “NR/SBR kauçuk esaslı araç lastiği karışımlarına proses yağlarının etkisi” (Proje No: 2014.26.04.254).

3. **Araştırmacı** (2013-2015); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (**BAP**), “Investigation effect of boric acid, CCB (Copper, Chromium, Borron), Immersol Aqua (I-AQUA) compounds used as wood preservatives on metal corrosion” (Proje No: 2013.26.04.162).

4. **Araştırmacı** (2015-2016); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (**BAP**), “İnhibitör Olarak 8-hidroksikinolinin bakır üzerindeki korozyonunun elektrokimyasal olarak belirlenmesi” (Proje No: 2015.26.04.365).

5. **Bursiyer** (2015-2017); Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), “Bazı yeni katyonik bor içeren iyonik sıvıların sentezi ve uygulama alanlarının belirlenmesi” (Proje No: 114M933).
6. **Araştırmacı** (2016-2017); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), “Diospyros kaki bitki ekstraktının korozyon inhibitörü olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması” (Proje No: 2016.06.05.515).
7. **Araştırmacı** (2017-2019); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), “Asidik ortamda etkili bor katkılı korozyon inhibitörü” (Proje No: 2017.06.05.634).
8. **Araştırmacı** (2017-2019); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), "Borinyum katyonu katkılı korozyon inhibitörü" (Proje No: 2017.06.05.635).
9. **Araştırmacı** (2018-2019); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), “Sülfat iyonlarının donatı korozyonuna etkisinin araştırılması” (Proje No: 2018.06.05.737)
10. **Destek Personeli** (2019-2020); Doğu Marmara Kalkınma Ajansı (MARKA), Üretim Altyapılarının Geliştirilmesi Küçük Ölçekli Altyapı Mali Destek Programı, “Tasarım, prototipleme ve inovasyon merkezi kurulumu” (Proje No: TR42/19/ÜRETİM/0006).
11. **Araştırmacı** (2019-2020); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), “Beton karışım suyu ve boşluk suyuna katılan ekolojik inhibitörlerin donatı korozyonuna etkisinin araştırılması” (Proje No: 2019.06.05.1036).

Uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

1. H. Arslan, M. Kurtay, N. Benli Yıldız, 2017, “Bina cephe elemanlarının yaşam döngüsü değerlendirmesinde (YDD) kullanılan methodların incelenmesi”, Sosyo Ekonomik Stratejiler IV, Tasarım Stratejileri, 2017, Page: 65-79.
2. M. Kurtay, H. Göksu, H. Gerengi, H. Burhan, F. Şen, 2020, “Magnetic nanomaterials for lithium ion batteries”, Materials Research Foundations 80 (2020) 123-147.

## Ulusal ve Uluslararası Patentler

1. Bor katkılı korozyon önleyici inhibitör  
[Boron doped corrosion preventive inhibitor]  
(Accepted by Turkish Patent Institute (TPE): 2018/07/23, TR 2016 05398 B)
2. Boronyum iyonu içeren korozyon inhibitörü  
[Boronium containing a corrosion inhibitor]  
(TPE Patent Application No: 2016/15069)  
PCT application No: PCT/TR2017/000110  
Indian Patent Office (IPO), Application Number: 201917016848 [international].

